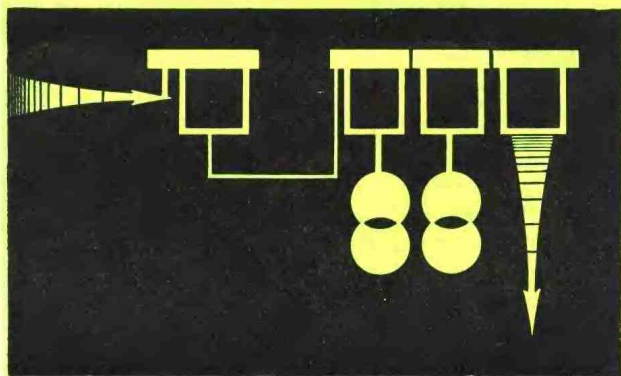


高等学校教学用书

煤矿井下用电与安全

(矿山电工)

王志宏 编著



中国矿业大学出版社

高等学校教学用书

煤矿井下用电与安全

(矿 山 电 工)

王志宏 编著

中国矿业大学出版社

B 591872



内 容 提 要

本书对煤矿井下电气化的安全技术、供电及设备的原理、设计、选型与整定等作了系统的阐述与介绍。内容包括：人身触电理论，防潮电气设备及防爆原理，井下潜在存在的电气灾害，漏电保护，接地装置，井下供电系统及设备控制，短路电流计算及保护装置整定等。

本书内容新颖，叙述简明，附有习题。是煤炭系统高校的采矿工程、矿山通风与安全、工业管理工程、工业电气自动化和矿山机械等专业讲授矿山电工课程的通用教材，亦可供煤矿的有关工作人员参考。

责任编辑：何其华

技术设计：周立钢

责任校对：佟莉莉

高等学校教学用书

煤矿井下用电与安全

(矿山电工)

王志宏 编著

中国矿业大学出版社 出版 发行

江苏省新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/16 14印张 字数340千字

1989年5月第一版 1989年5月第一次印刷

印数：1-6000册

ISBN 7-81021-068-8

TD·30(课) 定价：2.80元

前 言

本书对煤矿井下供电的安全技术、供电及设备的原理、设计、选型与整定等，作了系统的阐述与介绍。内容包括：人身触电理论；防爆电气设备及防爆原理；井下潜伏存在着的电气灾害；漏电保护；接地装置；井下供电系统；短路电流计算与保护装置整定等。

该书是煤炭系统高校采煤、通风安全、机电、企管、与机械等专业讲授“矿山电工”课程的通用教材，亦可供中专、函大、职大、电大等学生使用，也是有关工程技术人员的重要参考书。

该书是在作者多年来教授矿山电工课程的基础上和近几年来从事井下电气安全方面科研的基础上编写的。由于作者水平所限，有些不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

中国矿业大学自动化系 王志宏

1989年元月1日

目 录

第一章 煤矿生产的电气安全及防爆电气设备的分类与选型	(1)
第一节 煤矿生产的特殊条件	(1)
第二节 煤矿中电气安全的状况	(2)
第三节 人身安全与触电理论	(2)
第四节 防爆电气设备的种类	(8)
第五节 防爆电气设备的选型	(11)
第二章 隔爆型电气设备	(14)
第一节 概 述	(14)
第二节 瓦斯爆炸和弧光短路爆炸的特征	(14)
第三节 防爆原理	(17)
第四节 典型的隔爆结构及其参数	(23)
第五节 隔爆型电气设备的试验	(25)
第三章 增安型电气设备	(28)
第一节 概 述	(28)
第二节 电气间隙与爬电距离	(28)
第三节 绝缘材料与绕组	(30)
第四节 极限温度与保护	(31)
第五节 增安型电动机	(32)
第六节 增安型电气设备的试验	(34)
第四章 本质安全型电气设备	(39)
第一节 概 述	(39)
第二节 电火花点燃瓦斯的理论	(40)
第三节 安全参量与点燃概率的关系	(41)
第四节 本质安全参数曲线	(43)
第五节 分流元件及其工作原理	(49)
第六节 安全栅及其工作原理	(50)
第七节 本质安全电路的设计方法及注意事项	(52)
第五章 煤矿井下电气灾害	(56)
第一节 杂散电流的危害及其防治	(56)
第二节 静电的危害与防治	(64)
第三节 煤矿井下电气火灾	(69)
第六章 漏电保护	(72)
第一节 井下变电器中性点接地方式的分析	(72)
第二节 漏电继电器的保护原理	(76)
第三节 漏电保护装置	(80)
第四节 检漏继电器的安装、运行、维护与检修细则	(89)

第七章 井下电气设备的保护接地	(94)
第一节 保护接地的工作原理	(94)
第二节 井下保护接地系统	(96)
第三节 接地电阻的计算	(99)
第四节 接地电阻的测量	(102)
第八章 矿井供电设备	(104)
第一节 矿用隔爆型高压配电箱	(104)
第二节 KSGZY型移动变电站	(107)
第三节 矿用低压隔爆开关	(111)
第四节 矿用变压器	(115)
第五节 矿用电缆	(116)
第九章 矿用隔爆磁力起动器	(118)
第一节 接触器和断路器	(118)
第二节 控制线路图的绘制原则	(120)
第三节 QC83 系列隔爆型磁力起动器	(123)
第四节 隔爆兼本质安全型磁力起动器	(130)
第五节 电钻综合保护装置	(138)
第十章 井下供电	(142)
第一节 井下供电系统	(142)
第二节 井下中央变电所	(145)
第三节 采区变电所	(146)
第四节 井下高压网络设备的选择计算	(147)
第五节 采区供电计算	(150)
第十一章 短路电流计算及过流保护	(173)
第一节 井下低压电网短路电流计算	(173)
第二节 低压熔断器的选择计算	(200)
第三节 低压过电流继电器的整定计算	(206)
第四节 热继电器及其整定计算	(209)
第五节 千伏级电网过载及过流保护装置的整定	(212)

第一章 煤矿生产的电气安全及防 爆电气设备的分类与选型

第一节 煤矿生产的特殊条件

煤矿工业是需要动力大、劳动量大，而且又有其特殊工作条件的工业部门。为了在供电技术和生产管理上适应这种特殊的工作条件，以达到安全、可靠、经济用电的目的，我们要研究这种特殊工作条件下的电气设备的技术特点，及其电气安全运行参数。

井下的气候条件，主要是指井下空气的成份、温度、风速等。这些因素就构成了作用给人体的气候和井下电气设备的环境条件。

井下空气的组成，除了大量的氧气和氮气之外，还有从煤层、岩层中释放出来的有害气体和从煤、坑木等释放出来的气体，如甲烷、二氧化碳、硫化氢、一氧化碳、二氧化硫、氢气、粉尘等。井下空气的成分中，除了氧气和氮气之外，其它气体都是属于有害的成分，即是易爆的、可燃的、有毒的、窒息的，它们都会给人和设备带来很大的危害。

井下的温度不同于地面，它受地表恒温带、入风温度、地热及有机物氧化热影响，但在一天之内几乎没有变化，在一年之内变化也不甚显著。运输大巷内的温度较低，工作面的温度较高。

井下的湿度是较大的，最高相对湿度为100%，大多数巷道在97~100%范围内变化。机电产品处在这样潮湿的环境条件下，会使其绝缘部分吸收大量潮气，降低绝缘性能。因此井下的电气设备对于防潮的要求是很高的。

井下空气的对流速度，即风速，由于矿井大型通风设备的作用，在井下不同的巷道和工作面有不同的风速。因风流的作用，可使电气设备的温度降低，从而改善其工作环境。

煤矿井下环境最大的特点是：存在瓦斯、煤尘，有爆炸危险。它们的爆炸必须具备一定的条件：煤尘爆炸只有当其粒度在0.75~1mm以内、空气中的煤尘含量在30~3000g/m³范围内时，碰到700℃以上的热源，才有可能发生。

矿井瓦斯通常是煤矿井下采煤过程中放出的甲烷，它是一种无色、无味、比空气还轻的气体。当空气中的甲烷含量达到5~15%时，遇1020℃以上的高温热源，才会发生爆炸。

井下电气设备工作的特点是移动频繁，负荷变化大。据统计，随着工作面的推移，电气设备平均每10~15天就要移动一次，每隔半年就要搬一次家。因此，井下的电气设备要不怕振动和冲击，适应这种特殊的工作环境。此外，井下的巷道、峒室和工作面狭窄，并且经常会有岩石、煤块冒落的危险。为此，电气设备在结构上既要考虑坚固性，又要尽

量减小其重量和体积，以便于搬运和移动。

井下的大容量电动机，一般都是全压直接起动，起动电流大。因而电网电压波动大，所有电气设备均要适应这一技术要求。

第二节 煤矿中电气安全的状况

随着我国煤炭工业的发展，煤矿安全情况在逐步好转，尤其是在贯彻原煤炭部党组关于抓好三件大事的指示以来，事故发生率有了明显下降。

表1-1 各类事故死亡人数比例

事故的 种 类	死亡人数比例 (%)
电火花引起瓦斯煤尘爆炸事故	40
冒顶事故	25.2
火灾事故	12.8
机电运输事故	12.3
透水事故	9.7

在过去所发生的各类重大事故中，由于电火花引起瓦斯爆炸事故是十分严重的。1982年~1983年第一季度统计数字表明，由于电火花引起的瓦斯煤尘爆炸事故，就占死亡人数的40%，居各类首位，如表1-1所示。

之所以产生电火花，是由于井下供电系统中的防爆电气设备防爆不完善和使用不

当。因此，正确地选择、维护和使用防爆电气设备是非常重要的。

在人身触电方面，我国在解放后，由于贯彻执行了《煤矿安全规程》和使用了各种类型的防爆电气设备及漏电继电器，因此在井下供电系统中触电事故减少了。从最近发生的一些触电事故看，多数是在地面供电系统中和井下直流架线方面。

我国在1985年因直接接触电造成死亡事故的情况如表1-2所示。

表1-2 我国1985年触电死亡比例一览表

	死亡百分数 (%)
地面触电事故	57
井下电机车架线触电事故	29
井下供电系统触电事故	14

从上表可知，井下电机车架线触电事故占的比例很大。因为井下狭窄，照明不足，架线裸露，无漏电保护等情况，给人身带来了很大威胁。

井下供电系统的触电事故，大部分是由于违反操作规程，在对井下的电气设备检修时，由于在开盖和解除闭锁之后带电进行修理而发生。

第三节 人身安全与触电理论

煤矿井下的电气安全工作，分为设备安全 and 人身安全两大类。

在研究人身安全之前。首先应研究人体触电的电气参数。研究人体触电的电气参数是把人的生命作为研究对象，是科学探索的一种特殊形式。这一工作非常复杂，具有一定的危险性。第一次测量人体器官的电气参数，是在19世纪初。百多年来，这一工作一直在进行着。到20世纪的60年代，在美国和苏联都出版了对人体电气参数研究的著作。最近10年来，这方面的论文比较多，很多问题已经搞清，一些数据已经用于工业。我们现在着重讨论以下几个电气参数。

一、人体皮肤的结构及人体阻抗

在采煤生产的特殊条件下，附加电阻值(鞋，地面电阻)是很小的，作用于人体的电压

实际上就是全部工作电压。流过人体的电流是否达到危险值，主要取决于人体状态和人体阻抗值。

人体的总阻抗为电流所经过的组织的阻抗之和，人体阻抗在很大范围(数百欧至数兆欧)内波动，并取决于接触电压、接触面积、电流作用时间和其它因素。

在研究人体阻抗之前，首先研究一下人体皮肤的结构和人体各种组织的电阻。

人体皮肤的结构如图1-1所示。

图1-1是在放大镜下观察的人体皮肤结构。人体与电极接触的是角质层，在角质层下面有真皮(实际就是皮肤)，真皮下是脂肪组织和纤维质，在它们下面是肌肉组织。人体电阻主要是角质层上的电阻。干燥的皮肤当电压在15~20V下进行测量时人体的电阻为 $(8 \sim 100) \times 10^3 \Omega$ 。如果刮去角质层人体的电阻降到 $(1 \sim 5) \times 10^3 \Omega$ 。去掉表皮层时，人体电阻下降到500~700Ω。人体其它组织的电阻如表1-3所示。

表1-3 人体各种组织的电阻值

人 体 组 织	电 阻 值 (Ω)
干燥的皮肤	$(3 \sim 20) \times 10^3$
骨头	$(10 \sim 2000) \times 10^3$
脂肪组织	30~60
肌肉组织	1.5~3
血液	1~2
脊髓	0.5~0.6



图1-1 人体皮肤结构

- a—外表皮层； b—内表皮层；
1—角质层； 2—真皮；
3—皮下脂肪； 4—汗腺；
5—脂肪腺； 6—毛发；
7—血管； 8—神经细胞

人体电阻可看作由三个串联电阻组成，二个相同的表皮阻抗 Z_0 和一个皮下组织电阻 R_B 组成。

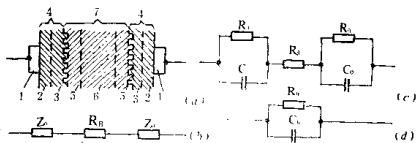


图1-2 确定人体电阻的等效电路图

- a—测定电阻的线路图； b、c—人体电阻的等效电路图； d—简化的等效电路图；
1—电极； 2—角质层； 3—真皮； 4—外表皮层； 5—内表皮层；
6—皮下组织； 7—人体的内部组织； Z_0 —外表皮阻抗； R_0 —外表皮等效电阻；
 C_0 —外表皮电容； R_B —内部组织电阻； R_k —人体电阻； C_k —人体电容

外表皮层的阻抗 Z_o ，是由外表皮层的电阻 R_o 和容抗 $X_c = 1/\omega C$ 并联而成。角频率 $\omega = 2\pi f$ ， f 为频率。

外表皮层电容 C_o 与电极面积 (S)，外表皮层厚度 (d) 及其介电常数 ($\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$) 有关。即

$$C_o = \epsilon_r \epsilon_0 S / d, \text{ F} \quad (1-1)$$

式中的 ϵ_0 是真空介电常数，其值为 $8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ 。 ϵ_r 是外表皮层的相对介电常数，在工频情况下，其值在 100~200 范围内。通常 C_o 值可达到几 μF 。

外表皮层电阻 R 与它的电阻系数 $\rho (10^4 \sim 10^5 \Omega \cdot \text{m})$ ，面积 S 和厚度 d 的关系为：

$$R = \rho d / S, \Omega \quad (1-2)$$

外表皮层的阻抗有很大的数值，可达到几万欧。人体的内部组织 R 大约等于 500~700 Ω 。

人体阻抗的等值电路，如图 1-2(c) 所示，可写成

$$Z_{\text{人}} = 2Z_o + R_B = \frac{2}{\frac{1}{R_o} + j\omega C_o} + R_B$$

该电路可简化成图 1-2(d)，则上式变成

$$Z_{\text{人}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{人}}} + j\omega C_{\text{人}}}$$

式中 人体电阻 $R_{\text{人}} = 2R_o + R_B$

人体电容 $C_{\text{人}} = 0.5C_o$

$Z_{\text{人}}$ 为复阻抗，其模

$$Z_{\text{人}} = \frac{R_{\text{人}}}{\sqrt{1 + \omega^2 C_{\text{人}}^2 R_{\text{人}}^2}} \quad (1-3)$$

当 $C_{\text{人}}$ 很小时

$$Z_{\text{人}} = 2R_o + R_B = R_{\text{人}} \quad (1-4)$$

增加接触人体的电压 U 能够降低人体的阻抗值 $Z_{\text{人}}$ ，人体肌肉的电阻值能够降低到 300 Ω 左右。

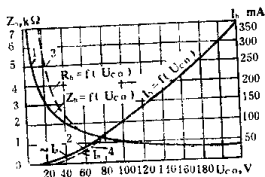


图1-3 人体电阻、电流与接触电压的关系

1、2—50周交流电流； 3、4—直流

在图 1-3 上，曲线 1 是当交流 50 周的情况下 $Z_{\text{人}}$ 与接触电压 U_{co} 的关系曲线，而曲线 3 是在直流电流的情况下 $Z_{\text{人}}$ 与接触电压 U_{co} 的关系曲线。

苏联学者 А、И、克列列娃等人提出，接触电压为交流时，人体阻抗的公式如下：

$$Z_{\text{人}} = U_{co} \frac{77}{U_{co} + 10} + 0.3 \quad (1-5)$$

式中 U_{co} —接触电压 V (手—手，手—脚，脚—脚)。

在图 1-3 中，根据公式 (1-5) 在 50 周交流电流的情况，随着接触电压的增加，人体阻抗 $Z_{\text{人}}$ 下降，其数值如表 1-4 所示。

国际电工委员会规定在交流 50Hz 的情况下接触电压与人体电阻的关系如表1-5所示。

表1-4 人体阻抗与接触电压的关系

接触电压 (V)	50	110	220	380	1000	>1000
人体阻抗 (Ω)	2000~1600	950	600	500	400	300

表1-5 人体电阻值与接电压的关系

接触电压 (V)	25	50	250	>250
人体电阻 (Ω)	2500	2000	1000	650

在我国，人体电阻的计算值采用 1000Ω 。

二、接触电压

许多电伤的资料表明，在一定电压范围内，电压愈高，触电的危险性愈大。然而电压本身还不能完全确定触电危险程度，触电的危险主要决定于直接接触人体的电压，即接触电压。

允许的接触电压(安全电压)各国都不一样，这与各国对触电机理的认识有关。接触电压与人对电流的灵敏度有关。我们可以用下面的试验例子来说明人体对电流的灵敏度情况。在60年代，苏联在井下潮湿的条件下对1226人进行了接触电压的灵敏度试验，其结果如表1-6所示。

表1-6 接触电压的灵敏度试验表

接触电压门限值 V	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
反应灵敏人数	2	7	104	193	380	209	177	91	52	6	4	1
反应灵敏度的分布密度 f^*	0.00037	0.0011	0.017	0.031	0.062	0.034	0.029	0.015	0.0084	0.001	0.00065	0.00016

矿工，对电灵敏度的反应是一种随机变量，其分布密度 f^* 按下式计算。

$$f_i^* = \frac{m_i}{n \Delta t_i}$$

式中 n ——试验样本数，1226个，

Δt_i ——区间长度，5V，

m_i ——随机变量，反应灵敏人数。

根据上式计算出来的分布密度 f^* 如表1-6所示，如果把它绘成分布密度的频率直方图1-4，这个图形近似于正态分布曲线。

上面的试验结果说明：有的人对电流有极高的灵敏度，甚至电压超过5V就有可能引起死亡，有的人则较低，电压提高10倍，即50V，也没有危险。

由此，苏联的M.И.巴拉什提议规定以下四级灵敏度：

I级——为对电流特别敏感的人，接触电压门限值低于12V，这些人不允许从事电气设备的日常维护。

II级——为对电流有较高敏感的人，接触电压门限值为12~20V，这些人从事电气设

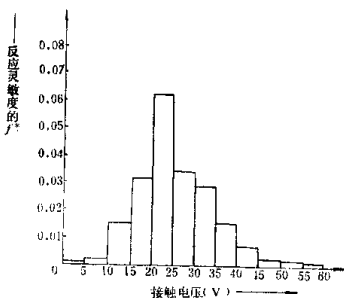


图1-4 反应灵敏度分布密度的频率直方图

备的日常维护有一定限制,必须有保护手段。

Ⅲ级——为对电流有正常敏感的人,接触电压门限值为 $20 \sim 40\text{V}$ 。

Ⅳ级——为对电流不敏感的人,接触电压门限值超过 40V 。

苏联的一些学者通过多次试验得出:人体皮肤的电压击穿强度为 $E = 500 \sim 2000\text{V/mm}$ 。因此,人体皮肤的击穿电压为

$$U_{PV} = 2d_r E, \text{V} \quad (1-6)$$

当人体皮肤的厚度 $d = 0.05\text{mm}$ 、 $E = 500 \sim 2000\text{V/mm}$ 时,得到人体的击穿电压

$$U_{PV} = 50 \sim 200\text{V}$$

苏联在工频 1000V 以下的中点接地与绝缘系统,和在 1000V 以上的中点绝缘系统最大允许接触电压如表 1-7 所示。

表 1-7 最大允许接触电压

作	用		时		间		间		间		间	
t (s)	0.01~0.08	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	>1.0
U (V)	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	36

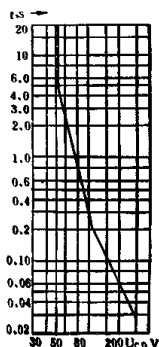


图 1-3 允许接触电压与时间的关系曲线

以 30 毫安作为长期作用极限安全电流。最近几年电生理学的研究成果表明:作用于人体电流的大小不同,人有不同的生理感觉,详如表 1-9 所示。

从表 1-9 中的数据可以看出:随着触电流的增加,人体触电危险是加剧的。当流过人体的电流为 $20 \sim 25\text{mA}$ 时,就可能有生命危险;当电流大到 60mA 时,就可能造成死亡。

国际电工委员会允许接触电压、时间曲线如图 1-5 所示。

从上图得到的允许接触电压值如表 1-8 所示。

表 1-8 国际电工委员会的允许接触电压值

t (S)	<0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	>1.0
U (V)	205	145	118	92	70	65

以上两个表的数据表明:交流接触电压的极限值,随作用时间的缩短而增大。我国接触电压的极限值(安全电压)为 40V 。

三、极限电流

对流过人体的安全电流标准,虽然做了大量工作,但各国的标准还未统一。什么样的电流值对人是危险的,或者是致命的呢?对此仍在讨论中,未得出最终结果。长期以来,

表1-9 电流的大小对人身的影响

流过人身的 电流 (mA)	对 人 身 的 影 响	
	交流电 (50~60Hz)	直 流 电
0.6~1.5	开始有感觉	无感觉
2~3	手指强烈发抖	无感觉
5~7	手抽离	感到发热、发痒
8~10	手尚能脱离带电体, 但感到疼痛	强烈发热
20~25	手不能脱离带电体, 疼痛加剧, 呼吸困难	发热更厉害, 手上肌肉轻微收缩
50~80	呼吸困难, 心室颤动	发热加剧, 手上肌肉收缩、抽筋, 呼吸困难
80~100	情况较前述加剧	情况较前述加剧

实际上, 电流对人身危害, 不仅与流过人身电流的大小有关, 还与电流流过人身的时间有关。极限安全电流的计算公式如表1-10所示。

表1-10 各国极限安全电流的计算公式

	公 式	国 家
交 流	$I = \frac{0.65}{\sqrt{t}}$	日内瓦1962年国际会议
	$I = \frac{30}{t}$	联邦德国
	$I = 10 + \frac{10}{t}$	国际电工委员会 (IEC)
直 流	$I = \frac{22.4}{\sqrt{t}}$	苏 联
	$I = \frac{26}{t}$	苏 联

表1-10中的公式是用各种动物模拟确定的动物心脏发生纤维颤动电流的试验研究结果, 再按一定条件换算到人体, 这些计算公式不同, 仅作参考。

根据莫斯科矿业学院B.И.车乌斯基教授的实验, 每一种动物, 使其心室发生纤维颤动时与下列参数有关, 而且是一个常数。

$$I\sqrt{t} = K \quad (1-7)$$

式中: I ——通过心室的电流;

t ——通电的时间;

K ——常数。

各种动物心室纤维颤动时的电流时间常数与平均电阻值如表1-11所示。

表1-11 各种动物心室纤维颤动的电流时间常数

动物种类	牛	羊	猪	狗
参 数				
K 值	554	432	364	165
平均电阻值 R (kΩ)	0.215	0.275	0.33	0.73

将上表绘成曲线,如图1-6所示。

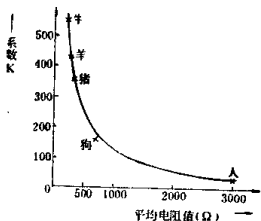


图1-6 系数K与平均电阻的关系曲线

从表1-12中看到 $KR = A = \text{const} = 120$ 。

上式为一双曲线函数,这种关系也适于。人的平均电阻值按 3000Ω 计算,则人体的系数K为

$$K = \frac{A}{R} = \frac{120}{3} = 40$$

则,人体危险电流的公式为

$$I = \frac{K}{\sqrt{t}} = \frac{40}{\sqrt{t}} \quad (1-8)$$

式中 I ——通过人体的危险电流(mA);

t ——作用时间(s)。

危险电流或者心室纤维颤动电流不能作为安全电流,安全电流必须把危险电流除以安全系数。我国在煤炭工业中大都采用的安全值为30毫安秒。

苏联在1000V以下的电气设备最大允许通过人体的电流如表1-13所示。

表1-13 1000V以下设备最大允许通过人体电流值

作用时间 (s)	0.01 ~0.08	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	>1.0
人体电流 (mA)	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2

以上讨论的是与人体触电有关的三个电气参数,这些参数的定义、概念和标准,对于研究煤矿井下人身触电、人身安全是非常有用的。

第四节 防爆电气设备的种类

适用于有爆炸危险场所内的电气设备,统称为防爆电气设备。

对此,我国有完整的国家标准(GB3836)作为设计、制造、检验、选型和维护的依据。该标准既适用于煤矿,也适用于化工、石油等企业,是一个通用标准。

电气设备在正常运行或事故状态下,都可能产生火花和电弧。这些火花和电弧是具有一定能量的,是引爆易燃气体混合物的火源。

爆炸性气体混合物的爆炸，必须具备两个条件：一定的气体浓度和足够的火花能量。在防爆电气设备中，采取各种安全措施，使这两个条件不能同时产生，或者增加电气设备外壳的机械强度。在此基础上采取的电气设备的防爆形式有：隔爆型、增安型、本质安全型、正压型、充油型、充砂型、无火花型、特殊型等。

隔爆型电气设备：具有隔爆外壳的电气设备，其外壳即能承受内部爆炸性气体混合物爆炸产生的爆炸压力，又能防止爆炸产物穿过隔爆间隙点燃外壳周围的爆炸性混合物。称这种型式的电气设备为隔爆型电气设备，用符号“d”表示。

增安型电气设备：正常运行条件下不会产生电弧、火花及过热现象，在设备结构上采取安全措施，提高安全程度，以避免在正常和规定的过载条件下出现电弧、火花及过热现象，保证安全。称这种型式的设备为增安型电气设备，用符号“e”表示。

本质安全型电气设备：是指全部电路均由本质安全型电路组成的设备。本质安全型电路是指在标准规定的试验条件下，正常运行或规定的故障状态下，产生的火花或热效应，均不能点燃爆炸性混合物的电路。由这种电路组成的电气设备叫作本质安全型电气设备。该设备用符号“i”表示。

正压型电气设备：是在外壳内充入保护性气体，使壳内气体压力高于壳外有爆炸性环境的压力，以避免壳外气体进入壳内，引起壳内爆炸。这种电气设备叫做正压型设备。该设备用符号“p”表示。

充油型电气设备：是指将全部或某些部件浸在油中，使其产生的电弧或过热，不能点燃油面以上的或外壳以外的爆炸性混合物的电气设备。这种电气设备叫作充油型设备。该设备用符号“o”表示。

充砂型电气设备：充砂型防爆结构在世界上是出现较晚的一种防爆类型。在我国至今还没有充砂型防爆电气设备的產品。

充砂型防爆结构是在电气设备或电气设备部分器件的外壳内填充一定粒度、一定高度的石英砂，从而限制电气火花、电弧和高温的传播，使之不能引燃电气设备外壳外部爆炸性环境的一种防爆型式。

这种防爆型式只适用于与石英砂直接接触而无相对运动的6kV以下的电器产品或元器件，如熔断器、电容器、变压器等。

一般防爆型式，如隔爆型、增安型、正压型等，对于电器设备内部发生的弧光短路是起不到防爆作用的。但是石英砂具有良好的绝缘绝热和防爆性能，因此充砂型防爆结构，对于电气设备的弧光短路事故能够起到防爆作用。

这种防爆型式的电气设备，它的安全程度是比较高的，它适用于危险程度较高的场所或区域。该电气设备用符号“q”表示。

无火花型电气设备：这是一种适用于工厂2级危险场所的电气设备。无火花型防爆概念最初是由美国提出来的，后来为美、英、法等国所接受。目前在我国国家标准(GB3836.1-83)中，也规定有这种型式防爆设备的标准。

在国家标准中，无火花型电气设备的定义是“在正常运行条件下，不会点燃周围爆炸性混合物，且一般不会有发生有点燃作用的故障的电气设备”。该定义中所谓的“在正常运行条件下”是指该类型的设备在电气、机械上符合设计规范的要求，并在制造厂规定的限度内使用。

无火花型电气设备在设计和制造时要采取措施,使设备在正常运行时:①不产生具有点燃作用的电弧、火花或危险温度;②一般情况下不发生具有点燃作用的电气和机械故障。

无火花型电气设备的安全程度比隔爆型、增安型、正压型,都低。因此它不适用于0级和1级场所,只能用于2级场所。该设备用符号“n”表示。

特殊型电气设备:凡在结构上不属于上述基本防爆型式的电气设备,经充分试验又确实证明其具有防止设备周围爆炸性气体混合物爆炸的能力,这种防爆型式称为特殊型,用符号“s”表示。

防爆电气设备因使用地点不同,根据国家标准(GB3836)分为两类:

I类:煤矿用防爆电气设备

II类:工厂用防爆电气设备

每类电气设备中都有上述八种防爆型式。使用在煤矿井下的I类电气设备,其周围的爆炸性气体主要是甲烷气体。

工厂用的II类电气设备,主要是用在石油部门和化工企业中。电气设备周围的爆炸性

表1-14 II类电气设备分级表

级别	最大试验安全间隙 δ_{max} (mm)	最小点燃电流比 MICR
IA	$\delta_{max} \geq 0.9$	$MICR \geq 0.8$
IB	$0.9 > \delta_{max} > 0.5$	$0.8 \geq MICR \geq 0.45$
IC	$\delta_{max} \leq 0.5$	$MICR < 0.45$

气体,种类较多。这些爆炸性气体。在相同的试验条件下,具有不同的试验安全间隙,不同的最小点燃电流和自燃温度。

根据试验安全间隙和最小点燃电流比,将II类的电气设备分为A、B、C三级,分级标准如表1-14。

什么叫最大试验安全间隙呢?最大试验安全间隙就是在标准规定试验条件下,壳内的被试气体点燃后,通过25mm的接合面均不能点燃壳外爆炸性气体混合物的最大间隙。

最小点燃电流比是各种爆炸性气体的最小点燃电流,同甲烷与空气混合物的最小点燃电流之比。按照以上两个条件,国标GB3836.1~83的附录A中,把155种爆炸性气体分成A、B、C三级。

各种爆炸性气体与空气的混合物,在每个级别里,按其自然温度不同,又分为六组: $T_1, T_2, \dots, T_6$ 。其分组标准如表1-15。

设备的允许表面温度不得高于分组温度的下限。

I类电气设备,表面可堆积煤尘,允许的最高表面温度为+150℃,如果采取措施,防止堆积时,则为+450℃。

表1-15 温度组别分组表

温度组别	自然温度, t℃	设备允许表面温度, t℃
T ₁	$t \geq 450$	450
T ₂	$450 > t \geq 300$	300
T ₃	$300 > t \geq 200$	200
T ₄	$200 > t \geq 135$	135
T ₅	$135 > t \geq 100$	100
T ₆	$100 > t \geq 85$	85

为了从防爆电气设备的外观上能够明显的区别出防爆电气设备的型式、类别、级别和组别,连同防爆设备的总标志“Ex”一起,构成各种防爆型式的标志为

隔爆型	d	充油型	o
增安型	e	充砂型	q
本质安全型	i _a ; i _b	无火花型	n
正压型	p	特殊型	s

现有五种类型的防爆设备其防爆标志如表 1-16 所示。

表 1-16 五种防爆标志举例

设备外壳上的符号	防爆型式	类别	级别	组别
E _x d I	d	I		
E _x d I BT	d	I	B	T
E _v i _A I AT _S	i _A	I	A	T _S
E _v i _b I CT _S	i _b	I	C	T _S
E _x SI	S	I		

第五节 防爆电气设备的选型

防爆电气设备的使用环境如前所述。根据使用环境的条件来选择防爆电气设备的型式、类别、级别和组别。

类别的选择：凡使用在煤矿井下的防爆设备都必须选用 I 类防爆电气设备。用在石油化工企业中的电气设备，应选用 II 类防爆电气设备。

级别和组别的选择：I 类设备周围环境中的气体为甲烷与空气混合物一种气体。因此，无级别与组别之分。但在 II 类设备中，还有级别和组别的区分。II 类设备都是用在石油化工企业中。根据石油化工企业中可能出现的爆炸性气体，查阅国标 GB3836.1-83 中的附录 A，从而确定企业车间中应选用 II 类防爆电气设备的级别、组别。

防爆型式的选择：煤矿井下周围环境气体中爆炸性气体甲烷的浓度，随着工作地点不同，变化很大。因此选择防爆型式时，根据工作地点不同而进行选择。具体的选择原则可根据“煤矿安全规程”410 条中的规定，如表 1-17 所示。

表 1-17 煤矿井下电气设备的选型

使用场所 类别	煤(岩)与 沼气突出矿 井和沼气喷 出区域	沼 气 矿 井				
		井底车场、总进风道 或主要进风道	翻罐笼	采区	总回风道、主要 回风道、采区回 风道、工作面和 工作面进风、回 风道	
		低沼气矿井	高沼气矿井	掘 进 风 道	掘 进 风 道	
一、高低压电机和电气设备	矿用防爆型 (矿用增安型 除外)	矿用一般型	矿用一般型	矿用防爆型	矿用防爆型	矿用防爆型 (矿用增安型除 外)
二、照明灯具	矿用防爆型 (矿用增安型 除外)	矿用增安型	矿用增安型	矿用防爆型	矿用防爆型	矿用防爆型 (矿用增安型除 外)
三、通讯、自动化装置和仪表、仪器	矿用防爆型 (矿用增安型 除外)	矿用一般型	矿用增安型	矿用防爆型	矿用防爆型	矿用防爆型 (矿用增安型除 外)

表 1-17 中的矿用一般型，在国标 GB3836 中没有这一种型式。这种型式是煤矿所独有的。

矿用一般型电气设备，没有采取任何防爆措施，但是与一般电气设备不同。其构造必须满足下列要求：

1. 电气设备外壳应有较高的机械强度，以保护内部机构，并能防止水滴入或浸入。