

静电的危害与防治

张修春 编



煤炭工业出版社

(京)新登字042号

内 容 提 要

本书主要介绍工业静电的产生、危害及其防治措施,对煤矿静电作了重点阐述。

全书共三章。第一章介绍静电的起因、机理及影响静电起电量的因素等;第二章介绍煤矿几种爆炸形式与危害,静电放电的方式、能量及安全界限;第三章介绍静电的防护措施,并对静电的安全管理与静电事故分析作了简要叙述。

本书可作为煤矿安全教育用书,也可供现场技术人员和技工参考。

静 电 的 危 害 与 防 治

张修春 编

责任编辑:李淑琴

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平门北街21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 $787 \times 1092\text{mm}^{1/4}$, 印张 $1^{7/8}$,

字数38千字 印数1—1,570

1994年6月第1版 1994年6月第1次印刷

ISBN 7-5020-0970-1/TD·895

书号 3736 G0289 定价2.30元

前 言

静电是不能很快地和异号电荷相结合的同号电荷的积聚。静电现象遍及我们的生活和工作环境中，并有许多地方超过安全界限。特别是随着科学技术的高速发展，工业现代化、自动化的实现，高分子材料的广泛应用，人们越来越认识到静电对现代化生产会造成不可忽视的严重威胁。自1953年第一次国际性静电会议召开以来，各国纷纷投入人力、物力研究静电问题，并取得了很大的进展。我国的军工、化工行业对静电研究进展也较快，并已采取相应地防护措施。

煤炭生产中因静电引起瓦斯爆炸已有典型案例，给煤矿职工生命安全和生产的顺利进行造成了严重威胁，逼迫我们对静电问题进行认真研究。然而，静电的产生和积聚是看不见，摸不着，无声无息地进行着的，这就给防静电危害带来很多困难。为此，我们有必要去认识 and 了解静电，掌握它发生和造成危害的规律，以采取有效地防范措施，从而杜绝或最大限度地减少静电事故的发生，这就是编写本书的目的。

由于本人水平所限，书中不妥之处在所难免，热诚欢迎广大读者批评指正。

编 者

1993年12月

目 录

前 言

第一章 煤矿静电的产生	1
第一节 静电起因概述	1
第二节 不同形态物体静电的产生	2
第三节 火药与雷管中的静电	5
第四节 人体静电	8
第五节 固体接触起电机理	11
第二章 物体的燃爆与煤矿静电放电的危害	14
第一节 煤矿瓦斯爆炸及危害	14
第二节 煤矿煤尘爆炸及危害	18
第三节 现代工业生产中的静电问题	21
第四节 静电放电的形式、能量与安全界限	24
第五节 煤矿静电引燃引爆分析	26
第三章 静电的防治	32
第一节 静电通用防治措施	33
第二节 静电起电量的抑制措施	38
第三节 接地措施	40
第四节 提高介质电导率的措施	43
第五节 防人体静电	47
第六节 静电的安全管理与事故分析	50
主要参考文献	54

第一章 煤矿静电的产生

无论是在自然界中还是在工业生产中以及人们的生活中每时每刻都在产生着静电。例如，雷电现象就是一个例子，又如，用毛刷子刷硬塑料管可产生数千伏的静电，再如，人们在暗处脱毛衣时会发现有很多放电火花。这些静电是哪里来的呢？煤矿生产中有哪些地方会产生静电呢？这就是我们这一章要研究的问题。

第一节 静电起因概述

静电的起因是复杂的，静电的产生可由多种原因引起，起电方式也有许多种，有时以一种方式为主，有时则几种方式并存。

一、固体接触起电

物体相互之间接触和分离都会使物体带上静电，称做物体的接触起电。自然界中物体的运动，工业生产中设备的运转和产品的移动，人们生活中的一切活动都大量而又频繁地发生着物体相互之间的接触摩擦和分离，这就会使接触起电普遍地发生，成为产生静电的主要方式。接触起电因物体形态不同，起电机理也不相同，对此，后面还要详细阐述。

二、感应起电

处于电场中的导体，其内部自由电子会受到电场力的作用而向电场相反方向移动，结果在导体的一端积聚起过剩的负电荷，而另一端则因缺少电子，显示带正电荷，这就是感

应起电。感应起电是生产中产生静电的主要原因之一。在电场附近移动导体会产生静电，人是活动着的导体，同样会被感应起电，还会引起其他导体感应起电。

除上述两种静电起电方式外，还有极化起电、压力起电、吸附起电、电解起电、温差起电、冷凝起电等多种起电方式，但这些方式的起电量均较小。

第二节 不同形态物体静电的产生

物体按形态不同，可分为固体、液体和气体，各种形态物体的带电具有不同的特点。

一、固体带电

固体是指具有一定形状的物体。固体带电主要形式是摩擦起电和感应起电。通过物体之间相互接触（当两物体的距离小到 $25 \times 10^{-8} \text{cm}$ 时）摩擦分离就形成带电。起电量的大小与接触面积、压力、时间、分离速度、绝缘电阻成正比，而摩擦加强了接触效果，有助于起电。

不同材料物体相互紧密接触且接触面积较大时，如果将两者剥离分开，两者都会带有较多的静电，称做剥离带电。如粘合的各种薄膜被撕开、成卷的材料被展开、传动胶带与轮轴之间的滚动分离、人体脱下衣服等情况的带电就属剥离带电。剥离面积越大、两者结合越紧密、剥离速度越快物体带电量就越大。

感应起电是处于由其他带电体上电荷产生的电场之中的导体受感应而起电。它与电场强度、导体移动速率、导体的电导和体积成正比。

生产过程中时时处处都有大量而频繁的接触摩擦和分离，也有不少感应起电的情况发生，所以固体带静电的现象

很普遍。煤矿越来越广泛使用的高分子类材料（如输送带、塑料风水管、硬塑料制品等）如不经抗静电处理，在生产过程中带电电位可高达数万伏以至数十万伏。

二、液体带电

当液体与固体接触时，由于固体表面极性分子的定向排列，表现出对外具有电性，液体中带电离子被吸附到固体表面而形成偶电层。如果固体表面显示带正电时，液体中负离子被吸附到表面形成厚度只有一个分子直径大小的固定层，而液体中正离子因负离子集中到表面也随之分布在界面附近形成数十至数百分子厚度的扩散层，随着远离界面，扩散层中正离子浓度逐渐减小。

生产中液体带电主要有如下几个形式：

1. 流动带电

当液体在管道中以速度 v 流动时，液流中扩散层上的电荷就会随液流移动，在管内形成电流，称冲流电流。而固定层上因偶电层平衡被破坏，也同时显电性，结果在管道长度方向上形成冲流电位差，如图 1 所示。

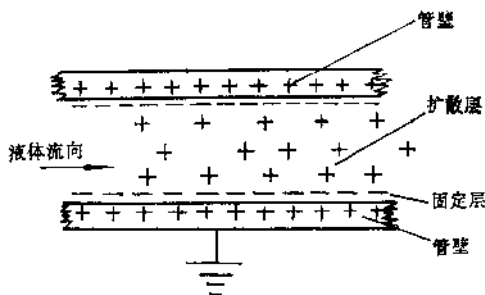


图 1 管道中的冲流电位差示意图

这种流动带电后的液体在液流中电荷呈体分布，特别是当输送液体进入贮存容器后，会产生很高的静电电压。例如，油料的储罐中电位可高达数千伏以至数万伏。

2. 沉降带电

当液体中混有杂质微粒时，杂质微粒表面形成接触偶电层，当微粒因重力而发生沉降（对于气泡则因浮力上升）时，由于扩散层分离会在液体中上下部分形成沉降电位差。

3. 溅泼带电

当把液体溅泼到固体表面，或以液体冲刷固体表面，再或者是以一种液体溅泼到另一种液体表面时，液体受冲击而分散为速度很快的微小液滴，并在表面上飞溅滚动时，液滴会带走因接触而形成的偶电层上扩散层的电荷，而在表面留下固定层上的电荷，从而起电。

4. 喷雾带电

液体由喷口高速喷出时形成雾状液滴，由于液体与喷口急剧摩擦，液雾滴就会带上静电，喷口处则会带上相反的电荷。如喷浆机的喷枪出口处静电电压高达22kV。

三、气体带电

气体是流体，带电现象兼有液体带电的特点。纯净气体一般是不易产生静电的，但当气体中含有杂质（如蒸汽、液滴、固体微粒等）时，气体在流动和高速喷出时就会带电。据测，高压蒸汽喷射时可产生数十万伏的静电。华东某矿就发生过压缩空气产生静电火花引起瓦斯爆炸的事故。

四、粉体带电

粉体是指由许多体积微小的固体颗粒组成的物体。如煤粉、火药粉、面粉、金属粉等。粉体就每一颗粒来说就是小块的固体，其带电特性与固体带电相同。但就整体而言，粉

体无固定形状，与液体、气体相似，故其带电特性也与液体、气体有相似之处。

粉体是由大块固体分离而成，同样的物质在重量不变时，粉体状态下的表面积比固体状态时要大得多。例如：一个半径为100mm的固体球加工成粒径为0.1mm的粉体时，表面积就会增大1000倍以上。因此粉体接触起电比固体严重得多。粉体颗粒之间有间隙，每个粉体颗粒几乎处于绝缘状态，尤其是处于悬浮状态的粉体，起电后电荷就难以散失。粉体因体积小表面积大而使粉体的活化性大大提高，例如，大块的煤通常难以直接点燃，而加工成煤粉后，微小的火花就会引起煤尘爆燃。这就是为什么粉体生产中容易发生爆炸事故的原因。

在粉体生产过程中，易产生带电的工序有粉体的破碎、筛选、搅拌、输送等，粉体带电可高达数千伏以至数万伏。粉体在输送、倾倒和抖落过程中会因与设备冲撞、摩擦而带有较多的静电，称做冲撞带电。当粉体受压力作用从喷口高速喷出时，粉体与喷口急剧摩擦分离也会使粉体带有较多的静电，称做喷出带电。这些粉体在空中飞扬时会形成在空间扩散的带电尘雾，飘落过程中又会引起其他物体吸附带电。

第三节 火药与雷管中的静电

煤矿掘进与采煤需要大量的火药与雷管，因此，我们很有必要分别研究一下火药和雷管产生静电的规律。

一、火药

各种火药在生产包装、运输、使用等过程中要经常与容器壁或其他介质摩擦，这样就会产生静电荷。由于火药不是导体，在没有采取有效措施的情况下，就会使静电荷聚集起

来，这种聚集的电荷的静电电压最高可达几万伏，一旦有放电条件，就会发生火花放电。当火花放电的能量达到足以引爆火药时，就会发生火药爆炸事故。为此，我们应了解火药起电规律从而找到防护措施。

概括地说，不同的材料与同一炸药在摩擦过程中所带静电的大小与下列因素有关：

首先，在其他条件都固定的情况下，带电量的大小决定于两者间摩擦力和摩擦速度的大小。摩擦力愈大，摩擦过程中所产生的能量也就愈大，就愈有利于使电子从比较容易失去电子的一方转移到比较容易接受电子的一方；摩擦速度愈快，产生电荷的速度就愈快，不致于使产生的电荷逐渐从空气中散失，从而能很快聚集起更多的电子，产生更多的静电。

其次，还应从炸药和不同材料在摩擦过程中得失电子的难易程度来考虑。不同材料在摩擦条件相同时产生静电的能力可以相差很大，对于这一点我们将在静电产生机理中详细分析。

还必须指出：火药在生产过程中会产生大量静电。如将鳞片状的TNT粉碎成粉末时，要用球磨机加工，它在木球与木球、木球与筒壁之间受到撞击和研磨作用而被粉碎，这就会因发生摩擦、冲击和剥离而产生大量静电，在出料时，如不采取措施就会产生放电火花，引起燃烧，甚至爆炸。

二、矿用电雷管中的静电

电雷管在其制造、运输和使用过程中会由于静电而引起爆炸事故。这种静电有些是在雷管药物生产过程中就产生的，有些是在各种生产工序中产生的，还有的可能是脚线的局部高压带电而产生的。所以我们必须先从电雷管的构造谈起。

电雷管是引爆材料，点火机构是通过对雷管脚线通以电流，电流经过电阻丝时，电阻丝上的引火球发热而起火。电雷管结构如图2所示。电雷管的引火球用起爆药制成，而起爆药的最小着火能很低，如氮化铅只有 10^{-5}mJ 。普通电雷管

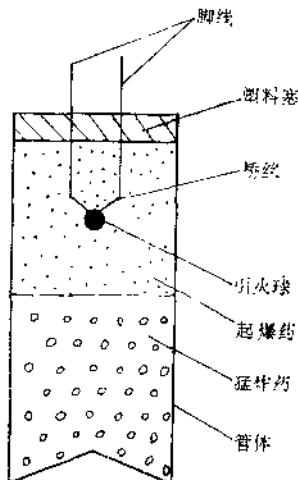


图2 电雷管结构示意图

的最小静电着火能约 0.8mJ ，只要有较小的放电能量就可以使之发火。电雷管通常是以最大安全电流来表征其电气感度，以 I_m 表示。 I_m 定义为：对电雷管的脚线连续通过电流时间 60s 而不会引发试验批量中任何一发时的电流最大值。也就是说，凡是超过 I_m 的电流值对于电雷管都是危险的。我国生产的各种电雷管最大安全电流约为 $150\sim 550\text{mA}$ 。

电雷管的另一个电气参数是电阻 R ，它包括脚线和桥丝的电阻。通常电雷管的电阻如表1所列。

由表1可以看出电雷管的电阻很小，很容易产生电雷管

爆炸。静电使电雷管爆炸主要是由于静电放电，有如下三种形式：

表 1 电 雷 管 电 阻 表

脚线材料	脚线电阻(Ω)	桥丝电阻(Ω)		全电阻(Ω)
铜	0.4	康铜	0.8	1.2
		镍铬	3.0	3.4
铁	2.4	康铜	0.8	3.2
		镍铬	3.0	5.4

(1) 脚一脚型：静电放电由一根脚线通过桥丝传到另一根脚线上，经过电雷管的全电阻放电，这种形式的起爆相当于电雷管的正常起爆。

(2) 桥—桥型：起爆只发生在双桥结构，静电放电发生在两个桥丝之间的地方，这种形式的起爆静电放电电阻最小。

(3) 脚—壳型：静电放电通过脚与壳间的药面处起爆。试验证明，这种形式的起爆所需能量很小。因此，这种形式的放电引起的事故最多。

为了防止静电给电雷管带来的危害，就必须提高它的抗静电能力。为此，我国已研制出绝缘式和泄放式等抗静电雷管。

第四节 人 体 静 电

对于静电而言，人体是活动着的导体（静电导体和动电导体的概念有区别），易被感应起电，也易引起其他导体感应起电。防静电时，人们往往只注意人体外的物体静电，而

忽视自身静电，这是不对的。据统计，人体静电引起的静电燃爆约占总静电燃爆事故的20%，这说明防人体静电是静电安全工作的重要方面。据资料介绍：当人穿塑料底鞋在橡胶地面行走时，人体负电位可达2~3kV；将尼龙纤维的衣服从毛线衣外面脱下时，人体可带10kV以上的高压静电；当人在具有带电微粒空间里活动时，由于带电微粒被人体所吸附，使人体静电高达18kV。

人体静电一方面会发生静电电击，另一方面会因静电放电引起燃爆灾害。

一、静电电击

静电电击有如下表现：在干燥季节人体易起电且电压较高，衣着会有严重吸尘现象，人体感到衣服缠身，并伴有刺扎感使人烦躁不安；脱贴身化纤服装时有较强烈的放电声，夜晚可见蓝白色电火花，人体有疼痛感；带电人体间电位差较大时，相互握手，双方会因电击而受震动；在生产现场，人触及带静电量较大的物体时会受到强烈电击，有放电声，指尖有电火花发生、有刺痛感并能感到手臂发麻。静电电击往往在意想不到的情况下发生，使人惊恐和不快。

静电电击与动电电击不同，静电电击是瞬间脉冲放电，通常只是在皮肤上产生微小伤害，如指尖裂伤、局部麻木、肩部脱位等。由于能量较小，不会引起直接电击死亡。但在频繁发生电击的岗位会使人紧张疲劳而影响生产效率。较强的静电电击会使人身不由己地摔跌、碰撞、坠落等，从而引起二次事故的发生。

表2是带电体为人体时人体电击感的实验结果。表3是带电体为导体时对人体放电的电击感实验结果。

从放电电流来看，电击的生理效应是随电源的频率、电

表 2 带电体为人体时人体电击感实验结果

人体电位 (kV)	放电能量 (mJ)	电击程度与现象
1	0.045	无感觉
2	0.18	手指外侧有感, 不痛, 有轻微放电声
2.5	0.281	手指尖有针触感, 有点哆嗦, 不痛
3	0.405	有针刺痛感
4	0.72	有针深刺痛感, 见到放电火花
5	1.125	手掌至前腕有电击痛感, 放电火花延伸
6	1.62	手指有强烈痛感, 电击后手腕有些沉重
7	2.205	手指、手掌有强烈痛感, 有麻木感
8	2.88	手掌至腕有麻木感
9	3.645	手腕上有强烈痛感, 手有严重麻木感
10	4.5	全手有痛感, 有电流流过感
11	5.445	手指严重麻木感, 全手有强烈触电感
12	6.48	全手有被电击狠打感觉

注: 人体电容为90PF, 人体充电后, 以手指对接地体放电。

表 3 带电体为导体时对人体放电的电击感实验结果

电容电压 (kV)	能量(mJ) $C = 740\text{PF}$	电击感	能量(mJ) $C = 4100\text{PF}$	电击感
1	0.4	无感		
2	1.5	有感	8.2	刺痛
5	9.3	刺痛	51	剧刺痛
10	37	剧刺痛	205	轻痉挛
15	83	弱痉挛	460	痉挛
20	149	轻痉挛	820	剧痉挛
25	232	中痉挛		

流大小、流经人体的途径部位以及持续时间长短不同而不同。在工频动电场合, 成人男子电击的感知电流约为 1mA 左右, 直流动电场合则约为 5mA 左右; 而对于静电放

电, 约为 $100\mu\text{A}$ 的直流脉冲就能感知。放电电流超过某值时人体有电击感知的值称做感知电流。电流通过人体达到此值时, 开始有感, 并随着电流增加, 人体生理反应剧烈, 继续增加超过某值时会导致死亡。大部分电击死亡是由于电击电流通过心脏引起心室纤动造成。产生心室纤动的临界值为 27ms , 静电电击一般是达不到这个数值的, 所以静电电击一般不会直接造成人身死亡。

二、燃爆灾害

人体静电会引起可燃易爆物的燃爆事故, 所以《煤矿安全规程》规定入井人员严禁穿化纤衣服, 关于人体静电造成的燃爆灾害将在第二章第五节中详细分析。

第五节 固体接触起电机理

工业生产中产生的静电主要是通过固体之间接触起电引起。因此了解接触起电机理和影响接触起电的因素对于防静电危害是很重要的。

世界上的一切物质都是由分子构成的, 分子又是由原子构成的, 原子核显正电性, 电子显负电性。正常情况下, 原子核和其周围电子电量相等对外不显电性, 而当某种原因使原子核周围的电子增加或减少时, 就会因增加电子显负电性, 因减少电子显正电性, 随着集聚电量增加, 这就产生了电或静电。为了进一步了解接触起电的机理, 首先要了解能级、功函数和静电带电序列。

一、能级和功函数

根据原子结构理论, 物质原子中的电子在绕核运转的各层轨道上具有不同的能量, 越靠近外层轨道, 电子能量越大。原子的最外层电子离核较远, 受核束缚力最小, 称做价

电子。对于单个原子来说，原子中的电子是分布在具有不同能量的轨道上，每层轨道对应于一个特定的能量值，称做能级。在固体物质中，物质原子是按一定规则整齐排列形成晶体。原子组成晶体后，原子之间靠得很近，原来分属于每个原子的价电子因受相邻原子的影响，而为整个晶体中原子所“共有”，称做价电子的共有化。

电子在通常情况下，由于受原子核的约束而不能离开物质表面，若要离开就必须给它一定的能量，我们定义电子离开物质表面所需的最小能量为物质的“功函数”（又称电子逸出功）。一些物质的功函数见表4、表5。

表 4 一些金属的功函数

金属 功函数	银	铝	金	铅	锌	铁	锡	铜
W	4.97	3.38	5.06	3.94	3.6	4.4	4.09	4.87

表 5 一些固体材料的功函数

材料名称 功函数	聚氯乙烯	聚乙烯	尼龙66	氯化丙烯	硅	锗	FeO	SiO ₂
W	4.85	4.25	4.08	5.14	4.8	4.4	3.85	5.0

二、静电序列

根据物质的功函数值，按照由小到大顺序将一组物质排成序列，则序列中任意两个物体接触起电时，前者带正电，后者带负电，且两者如果间隔愈大，则接触起电量越大。这样的物质序列称做静电序列（或起电序列）。在工程实际中，由于许多物质的功函数值很难准确测定，实际的实验条

件和物质特性等差异很大，静电序列的差异也大，因此，只能把已排定的静电序列作为参考。下面给出两种典型的静电序列：

(1) + 石棉、玻璃、云母、羊毛、猫皮、铅、镉、锌、铝、铬、铁、铜、镍、银、金、铂 -。

(2) + 玻璃、头发、尼龙、羊毛、人造纤维、丝绸、醋酸人造丝混纺、纸、橡胶、维纶、纱纶、聚酯纤维、电石、聚乙烯、可耐可纶、赛璐珞、玻璃纸、聚氯乙烯、聚四氟乙烯 -。

根据静电起电机理，我们在防静电时就可运用静电序列选用产生静电最少的两物质，至于这一点我们将在第三章第二节中谈到。