

防爆电气技术与应用

王文义 赵佩珊 徐家麟
刘学仁 李宝成 编著



黑龙江科学技术出版社

黑龙江省科学技术出版社

封面设计：董宇存

封面设计：董宇存

封面设计：董宇存

防爆电气技术与应用

FANGBAO DIANQI JISHU YU YINGYONG

王文义 赵佩珊 徐家麟

刘学仁 李宝成 编著

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

沈阳市第二印刷厂印刷·黑龙江省新华书店发行

787×1092毫米32开本17,125印张 350千字

1985年8月第1版·1985年8月第1次印刷

印数：1—21,740册

书号：15217·177 定价：3.85元



前 言

近年来我国煤炭、石油、化工、冶金、轻工、军工等工业发展十分迅速，越来越多地使用着各种电气设备。为了保证生命和财产的安全，这些电气设备均须考虑防爆问题。其设计、制造、检验、选用、安装运行、维修等必须严格遵循有关的防爆规定。考虑到有关防爆方面的知识，国内目前尚无完整的书籍资料，我们参考了国内外有关标准，结合多年的研究成果，编著了这本《防爆电气技术与应用》一书，以供从事防爆电气技术的工程技术人员、厂矿管理人员及广大电气技术工人在实际工作中参考。

由于我们的理论水平及实践经验有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者在实际应用中提出宝贵意见。

作者

1984年10月10日

内 容 提 要

本书是阐述防爆电气技术基础与应用方面的著作，全书共分十章。书中较系统地介绍了防爆电气基础理论及防爆电气设备的设计、制造、试验、选用、现场安装施工和设备维修等内容。此外，书中还搜集了国内有关科研成果，国外有关防爆规程数据和各国的电器产品的防爆标志，以及有关的国家标准，以便于读者查阅。

本书可供从事防爆电气技术工作的工程技术人员、厂矿管理人员及有关技术工人阅读参考。

绪 论

防爆电气技术与应用，是一门比较新的技术，是能源、基础原材料、国防等工业部门不可缺少的安全技术保障措施。

人们对防爆电气技术的研究，起源于煤炭的开发。十九世纪初叶，由于生产的发展，机械生产逐步代替了笨重的体力劳动。机械的拖动动力是由电动机及其电控系统来完成的。由于起动、停止和运行时，电气设备经常产生火花、电弧和危险温度，因此在生产中经常发生爆炸事故。人们便逐步开始对爆炸事故进行研究和探讨。

1883年出现了世界上最早的研究机构，即美国芝加哥保险协会研究所。不久，许多先进国家也都成立了类似的研究机构。这些研究机构都分别对煤矿井中甲烷的燃烧、爆炸过程，以及爆炸时所产生的物理量之间的关系，进行了一系列的试验研究工作。为探讨相应的防爆措施，提供了大量的科学研究成果。

1903年—1906年间，德国学者贝宁在试验中发现，在圆柱形容器内甲烷——空气混合物爆炸时，火焰会通过缝隙传到容器外。但当缝隙小到一定程度时，火焰即使传到容器外，也不会引起外部可燃性气体的爆炸。这个发现为隔爆外壳的诞生奠定了基础。后来，又进一步对爆炸性混合物的引燃能量进行了研究，并提出不能引起爆炸性混合物爆炸的点燃能量理论。英国人较早地研究出了这种基本有效的措施，曾于1900年第一次应用于井下的电气设备中。这就是现在的

本质安全型（安全火花型）原理。从此，对煤矿用防爆电气的研究逐步深入，并形成了一门新兴的技术。1916年在美国召开了第一次煤矿安全研究会议。

随着石油、化工、轻纺及军工等工业的发展，这些部门生产中也与煤矿井下一样，经常发生爆炸性事故，更引起了人们的极大注意。

到目前为止，已经对上述工业中出现的千余种具有爆炸危险性物质的性质进行了研究，为防爆电气技术的发展提供了可靠的理论依据。

世界各国在爆炸危险区域中，采用普通的非防爆电气设备（如电机、电器、仪器、仪表、信号装置、照明灯具等）而引起巨大的爆炸事件是屡见不鲜的。如美国1917—1939年仅粉尘爆炸事故，就达436次之多，死亡350人。1958—1977年的近二十年中，在粮食饲料加工部门，就发生了220次爆炸事故，共计有148人死亡，499人受伤。日本的化学工业，仅1950—1954年的五年中，仅是厂房爆炸事故就达到700多次，死亡1786人。1955—1957年的三年中，又发生爆炸事故147次，死亡146人，356人受伤。几年前，日本发生一次严重的矿井煤粉爆炸事故，死亡达500余人。1942年我国某地煤矿发生一次严重的爆炸事故，死亡达千余人，这是当时世界上最大的一次矿井爆炸事故，轰动了全世界。从以上事例可知，爆炸事故给人类的生命和财产带来了不可弥补的损失。

据报道，煤矿井下约有三分之二的场所是属于易燃危险区域。同样，石油的开采现场和精练工厂，约有60—80%的场所是属于易爆场所。化学工业中有80%以上的车间是属于这种性质的区域。因此，在这些区域内，必须采用各种类型

的防爆电气设备。

我国防爆电气技术的研究历史较短。五十年代初期，佳木斯电机厂试制成功了JB型矿用防爆电动机和JBS型工厂用防爆电动机，以后陆续试制了JBT型矿用防爆轴流式局部扇风机、JBD型矿用防爆采煤机用电动机、JBJ型矿用防爆轻便绞车用电动机、JBI型矿用防爆装岩机用电动机和JBR型防爆绕线型电动机等产品。由于矿用电机的发展，使配套的矿用防爆电器设备也得到了相应的发展。如矿用防爆磁力起动器，矿用防爆按钮，矿用防爆变压器、仪器、仪表、信号装置和灯具等。

为了确保矿用防爆电气设备的安全可靠，机械工业部和煤炭工业部共同编制了《矿用防爆电气设备制造检验规程》

（试行草案）。1963年8月机械工业部和化学工业部又联合颁发了《工厂用防爆电气设备制造检验规程》。1965年8月由煤炭工业部和机械工业部联合颁发了《矿用防爆电气设备制造检验规程》，为我国防爆电气设备的制造和检验奠定了初步基础。

1976年机械工业部、煤炭工业部、石油化学工业部联合提出修订防爆规程。1977年国家标准总局又发布了《防爆电气设备制造检验规程》（GB1336-77），代替了原来的《矿用防爆电气设备制造检验规程》和《工厂用防爆电气设备制造检验规程》。

最近几年，我国曾多次派人参加国际电工委员会召开的年会，派代表团出国考察，同世界各国的专家们就一系列防爆技术问题进行了交流和探讨。

目前，我国的防爆电气设备制造厂已遍及全国，防爆电气设备的品种基本齐全，已能满足我国工业生产发展

的需要。有部分产品已远销国外。我国在防爆电气设备的理论研究、设计和制造等方面，已经形成了一个比较完整的体系。在防爆电气技术的应用方面，虽然取得较大的成就，但是在试验研究、产品开发和防爆标准等方面，尚需进行深入的研究。

目 录

绪 论.....	1
第一章 爆炸混合物的特性.....	1
第一节 可燃性物质.....	1
第二节 爆炸性混合物.....	2
第三节 爆炸参数.....	6
第四节 爆炸参数之间的关系.....	31
第五节 爆炸性混合物的分级.....	39
第六节 爆炸性混合物的分组.....	45
第七节 各国爆炸性混合物的分级分组.....	46
第二章 电气设备的防爆.....	50
第一节 防爆原理.....	50
第二节 防爆类型.....	51
第三节 防爆标志.....	53
第四节 防爆要求.....	56
第三章 防爆电机.....	103
第一节 防爆电机类型.....	103
第二节 隔爆型电机.....	112
第三节 增安型电机.....	195
第四节 其它防爆电机.....	238
第四章 防爆电器.....	249
第一节 防爆电器产品的型谱.....	249
第二节 防爆馈电开关.....	251
第三节 防爆主令电器.....	261
第四节 防爆接线盒.....	270
第五节 防爆插销.....	273

第六节 防爆起动器.....	274
第五章 防爆灯具.....	287
第一节 灯具类型.....	287
第二节 灯具的设计特点.....	288
第三节 防爆螺口式灯座.....	291
第四节 产品简介.....	295
第六章 本质安全型电路和电气设备.....	298
第一节 概述.....	298
第二节 设备的构成.....	316
第三节 结构特点.....	353
第七章 防爆电气设备的检验.....	359
第一节 检验程序.....	359
第二节 隔爆型.....	361
第三节 增安型.....	369
第四节 本质安全型.....	379
第五节 防爆灯具.....	381
第六节 充油型.....	384
第七节 通风、充气型.....	386
第八节 水压试验.....	386
第九节 湿热试验.....	388
第十节 绝缘漏电试验.....	395
第八章 防爆电气设备的选用.....	404
第一节 爆炸危险区域的分级.....	404
第二节 防爆电气设备的选型.....	416
第三节 防爆电气设备的选型举例.....	423
第九章 防爆电气设备的施工与安装.....	429
第一节 1—1 级危险区域内低压配线施工.....	429
第二节 1—2 级危险区域内低压配线施工.....	447
第三节 高压配线施工.....	448

第四节	本安及本安关联回路的配线施工·····	450
第五节	接地保护和防雷·····	454
第六节	电气设备的安装·····	456
第十章	防爆电气设备的维修·····	462
第一节	维修范围·····	462
第二节	维修内容·····	462
第三节	维修过程中的检查项目·····	463
第四节	隔爆结合面修补范围的规定·····	467
第五节	隔爆结合面缺陷的修补方法·····	469
附录一	GB1336-77防爆电气设备制造检验规程(摘要) ·····	472
附录二	GB3836·1-83爆炸性环境用防爆电气设备 通用要求(摘要)·····	485
附录三	GB3836·2-83爆炸性环境用防爆电气设备 隔爆型电气设备“d”(摘要)·····	504
附录四	GB3836·3-83爆炸性环境用防爆电气设备 增安型电气设备“e”(摘要)·····	513
附录五	GB3836·4-83爆炸性环境用防爆电气设备 本质安全型电路和设备“i”(摘要)·····	525

第一章 爆炸混合物的特性

本章重点阐述爆炸性混合物的特性，主要包括爆炸性混合物的燃烧、爆炸及其参数与分级分组等。它是防爆电气设备研究、设计、制造、选用、安装和使用维护的理论依据。

第一节 可燃性物质

一、可燃性物质的定义

可燃性物质是指可燃性气体、液体、蒸气和粉尘等。这些可燃性物质除存在于煤矿井下、石油、化工产品的生产流程之中外，还存在于石油、化工产品的贮存场所及运输过程（表1—1）。

表1—1 可燃性物质

出现的场所 可燃性物质	生产流程	贮 存	运 输	煤矿井下
甲烷 乙炔 乙烯 氨 石油蒸气 汽油蒸气 醋酸蒸气 铝粉 面粉 纤维粉尘	√ √ √ √ √ √ √ √ √ √ √	√ √ √ √ √ √ √ √ √	√ √ √ √ √ √ √ √ √	√

二、可燃性物质的物理量

对于可燃性物质必须注意了解以下有关物理量。

闪点 在液体表面的蒸气与空气形成混合物时，当火源接近的瞬间，发生闪燃现象而不引起液体本身燃烧的最低温度。

易燃液体 闪点低于或等于45℃的液体称为**易燃液体**。

可燃液体 闪点高于45℃的液体称为**可燃液体**。

第二节 爆炸性混合物

一、混合物的形成

在煤矿井下，在石油、化工以及综合利用时的生产、贮存、运输过程中，当设备、管道等发生故障而泄漏出可燃性气体或液体（包括易燃性液体）、蒸气，与空气混合后形成了具有爆炸危险的混合物。一旦浓度达到爆炸界限，就形成爆炸性混合物。

二、混合物的燃烧

1. 燃烧的条件

爆炸性混合物的燃烧必须具备下列的条件：

- (1) 可燃性物质；
- (2) 助燃性物质，主要是指空气中的氧气；
- (3) 引爆源，也称引燃源。引爆源是指引起爆炸性混合物爆炸的能源，如电火花、电弧、危险温度等。这些引爆源的能量都是一般电气设备在运行中所能达到的。

不难看出，在上述的三个条件中，可燃性物质和助燃性物质是由环境条件所决定的。但是，电气设备经过精心设计和制造是可以使引爆源的能量降低，而不产生引爆作用。如弱电控制设备的引燃能量就达不到引爆程度。根据有关资料介绍爆炸性混合物的最小引爆能量是很小的（表1—2）。

表1—2 爆炸性混合物的最小引燃能量

序号	爆炸性混合物	最小引燃能量 (毫焦)	浓 度 % (体积)	电容 (微法 拉)	电压 (千伏)	计算放电 能 量 (微安秒)
1	丁 酮	0.29	5.2			
2	甲 烷	0.28	8.5	9	7.9	0.7
3	丙 烷	0.23	5.3	10	7.2	0.7
4	正 戊 烷	0.28	3.3			
5	乙 烷	0.25	6.5	10	7.1	0.7
6	正 丁 烷	0.25	4.7			
7	正 乙 烷	0.24	3.8			
8	正 灰 烷	0.24	3.4			
9	环 乙 烷	0.22	3.8			
10	苯	0.20	4.7	4—7	8—10	0.4—0.6
11	乙 醚	0.19	5.1			
12	环 丙 烷	0.17	6.3			
13	甲基环氧乙烷	0.13	7.5			
14	丁 二 烯	0.13	5.2			
15	戊 酮	0.11	7.0			
16	环 氧 乙 烷	0.065	10.8			
17	乙 炔	0.019	7.7			
18	氢	0.019	2.2	4	3.1	0.012
19	二 硫 化 碳	0.009	7.8			

2. 燃烧过程

可燃性物质，如氢气在引爆源的作用下，开始燃烧，其

反应是在气体状态下进行的。各种可燃性物质的燃烧过程如图1—1所示。

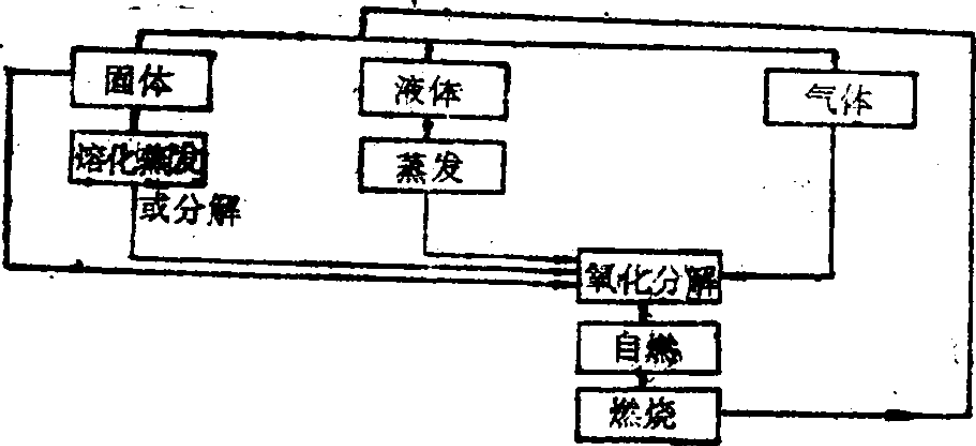


图1—1 可燃性物质的燃烧过程

3. 燃烧的温度变化

可燃性物质燃烧过程中的温度变化是很复杂的。如图1—2所示。

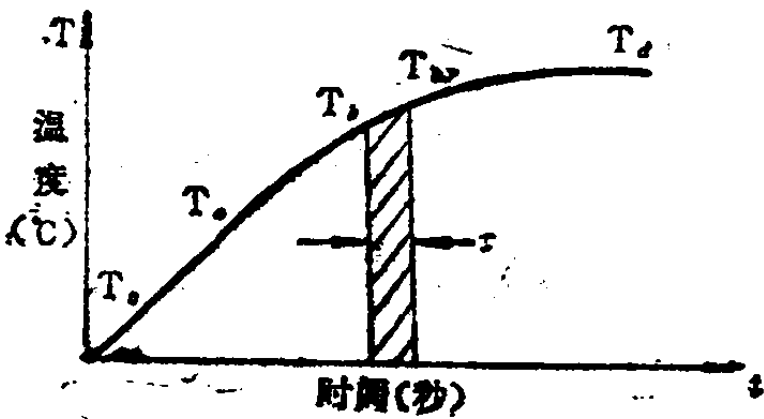


图1—2 可燃性物质加热过程中的温度变化曲线

物质受热时被吸收的热量大部分消耗于熔化、蒸发或分

解上，所以温度上升较缓慢。 T_0 为氧化开始点。此时温度较低，氧化速度不快，产生的热量还不足以弥补系统向外界散出的热。如果此时停止加热，则不能引起燃烧。如果温度上升很快，直到自燃点 T_b ，氧化反应速度也随着加快，这时氧化反应所产生的热量与系统向外界放出的热量相平衡。如果氧化反应再继续前进，此时热量将失去平衡。如果停止加热，温度也能自行上升，直到开始点 T_c ，开始出现火焰。理论上称 T_b 为自燃点， T_c 为开始火燃温度， T_b 与 T_c 之间的“ τ ”为燃烧的延滞时间。

三、混合物的爆炸

1. 热爆炸

爆炸是在燃烧的基础上进行的高速度的放热反应，即所谓的热爆炸。根据热爆炸理论可将爆炸的性质按反应速度 v 分为下列三种类型。

$v > 10$ 米/秒，称为轻爆； $v > 10 \sim 100$ 米/秒，称为爆炸； $v > 1000 \sim 7000$ 米/秒，称为爆轰。

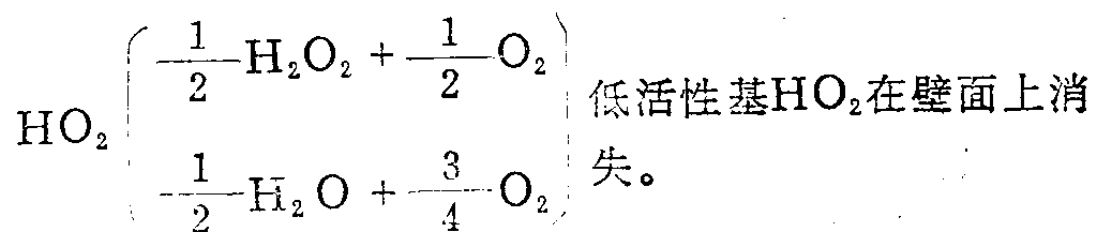
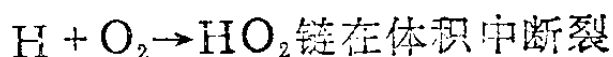
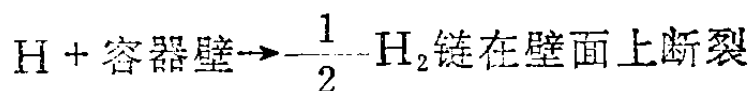
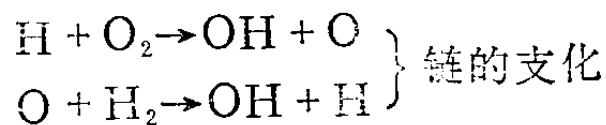
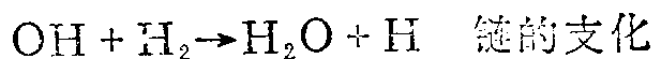
热爆炸过程当爆炸性混合物浓度达到爆炸界限，又遇到能够引燃的引爆源时，便开始燃烧，其反应速度不断加快，随之放出大量的热量，使反应区内的气体急剧膨胀，并发出爆炸声。

2. 链爆炸

用链爆炸反应理论解释燃烧，即由于链的支化产生了燃烧。由于链不断地支化，使反应系统中链的数目不断增加，反应速度不断加快，直到发生爆炸。

链爆炸过程大部分链反应是由三个阶段构成，即链的引发、支化和断裂。

氢气链反应的爆炸过程：



总之，无论是热爆炸或链爆炸，均在爆炸界限范围之内进行，且爆炸性混合物在爆炸过程中产生了新的物理量与相关的物理量。

这些物理量是：

τ ——燃烧的延滞时间（秒）；

v_0 ——火焰传播速度（厘米/秒）；

t ——自燃温度（℃）；

p ——爆炸压力（公斤/厘米²）；

$v_{\text{冲}}$ ——冲击波速度（米/秒）；

E ——最小引爆能量（毫焦）。

第三节 爆炸参数

一、爆炸界限

爆炸性混合物引起爆炸的最低浓度称为爆炸下限，引起爆炸的最高浓度称为爆炸上限（图1—3）。