

电气放电和 摩擦火花的 防爆性

杨洪顺 曾昭慧 译



煤炭工业出版社

电气放电和摩擦火花的 防 爆 性

〔苏〕 B.C.克拉夫钦克 主编
B.A.邦 达 尔

杨洪顺 曾昭慧 译

煤 炭 工 业 出 版 社

内 容 简 介

本书叙述了不同形式的电气放电和摩擦火花防爆性方面的一些问题。阐明了点燃气体—蒸汽空气混合物的物理原理,说明了用于煤炭、石油、煤气、化学及其它工矿企业的本质安全型电气设备的计算和设计问题。

从原理上提出了与静电放电和摩擦火花点燃可燃性混合物有关的一些新概念。陈述了用于制造矿井防爆电气设备外壳,爆炸危险场所用通风机、手动工具等不同金属材料的安全火花性能。

本书可供从事于煤炭、石油、煤气和化学工业中火灾和爆炸危险场所的防爆电气设备的研究、设计和使用的工程技术人员之用。

责任编辑:陈锦忠

В.С.Кравченко В.А.Бондаря
ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
РАЗРЯДОВ
И ФРИКЦИОННЫХ ИСКР
Москва Недра 1976

电气放电和摩擦火花的防爆性

杨洪顺 曾昭慧 译

煤炭工业出版社 出版
(北京安定门外和平里北街21号)
北京京辉印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本787×1092mm^{1/32} 印张11^{1/4}

字数245千字 印数1—1,550

1990年3月第1版 1990年3月第1次印刷

ISBN 7-5020-0172-7/TD·162

书号 3022 定价 4.20元



前 言

实现发展工业的宏伟纲领，只有在工艺过程自动化的基础上广泛运用综合机械化和自动化才有可能。然而石油、煤炭、煤气和其它工矿企业控制系统的自动化，由于在生产场所存在有害气体而变得复杂起来。

如果可燃物和氧化剂可能产生的热源能量处于点燃浓度之外或者点燃温度不超过安全值时，工艺过程的防爆性才得以保证。

生产场所存在着可燃混合物时，电气火花、被加热的表面、明火、自燃和冒烟徐燃即将成为可燃气体的引火源。

可燃气体、蒸汽和粉尘—空气混合物的爆炸和火灾常常造成物质破坏和人身伤亡等重大事故。采取防爆措施在于消除事故产生的可能性，同时把物质损失限制到最少程度。

该问题的试验研究在全苏防爆电气设备科学研究所(ВНИИВЭ)，全苏消防科学研究所(ВНИИПО)，苏联内务部(МВД СССР)和莫斯科金属化学研究院(МИХМе)进行。

本书的目的在于阐明并将本国和国外文献中有关弱电电路的电气放电，静电放电火花和金属摩擦火花防爆技术方面的材料系统化。

第一篇列举了煤炭、石油、煤气和其它一些工矿企业内不同形式的电气放电点燃可燃性混合物的试验数据。叙述了按最小点燃能量、最小点燃电流和电压用试验和计算的方法鉴定电气放电的点燃能力。阐明确定电路本质安全性的方

法，提高本质安全功率的原理，以及对设计矿用本质安全型电气设备的要求。

还列出了一些由于矿业中广泛采用与塑料相联系的静电放电点燃能力方面研究的新成果。

第二篇研究在不同形式的摩擦和冲击情况下形成摩擦火花的机理问题，金属摩擦颗粒氧化和点燃过程和 在煤矿、钾矿、石蜡矿和石油矿、石油加工企业、化学工业和其它爆炸危险场所的大气中被电气放电和摩擦火花点燃混合物的条件。

广泛地介绍了用于制造矿井电气设备的外壳、手动工具和通风机的不同金属的本质安全火花方面的研究成果。

对可能存在这样危险的地方提出一些计算和设计防爆电气设备的建议方案，目的在于请读者注意。

本书第一章由符·阿·邦达尔编写，第二章由符·恩·维列甫金编写，第三章由阿·叶·波果列里斯基编写，第四、第五、第六和第七章由阿·伊·盖斯金编写。

作者向技术科学博士，教授符·伊·谢洛夫表示感谢，感谢他对本书提出宝贵意见和修改初稿时给予的帮助。

译者的话

《电气放电和摩擦火花的防爆性》一书是由苏联著名学者，技术科学博士，教授，符·斯·克拉夫钦克和技术科学硕士符·阿·邦达尔主编的。专门论述爆炸危险环境中电气放电和摩擦火花的防爆性问题。

本书第一篇以大量篇幅系统地论述各种形式电气放电点燃爆炸性混合物的基本理论问题。探讨电气放电特性及其点燃的机理。并详细地论述了静电放电的点燃性理论问题，同时对静电放电的基本特性，静电放电产生的规律性以及静电放电点燃危险性等作了详尽的叙述。在研究和理论分析的基础上，提出了鉴定电气放电点燃性能的安全标准，即测量最小点燃能量。本书中提供了试验和测定点燃可燃性气体最小点燃能量的试验方法和测定装置、并进行了大量的试验研究、提出了全部级别和组别中主要可燃性气体最小点燃能量和其它重要数据和参数。文中还论述了在生产实践中因静电而引起的火灾和爆炸的实例及解决措施。这些对我国读者掌握静电发生的规律，了解其危害，从而消除生产中意外的电气放电，特别是消除静电的危害是会有很大帮助的。

在这一篇里还对电气放电的基本理论及本质安全理论和实践方面的许多问题进行了论述。提出了目前在本质安全理论方面的许多新的见解，并进行了理论和实践的研究。如电气放电火花发生的过程，在火花放电通道内电流和电压变化的规律，找出了对点燃起主导作用的关键所在。最后指出了提高本质安全功率的原理，及实际线路的结构；怎样在设计

阶段即能预先考虑本质安全参数等都是当前正在研究的课题。

当然，在这方面本书也有一些不足之处，其中主要的是在高频电流点燃可燃性混合物方面论述甚少，但在书中却作出了高频电流没有直流危险的结论，同时认为用现有的本质安全试验装置即可进行高频电路的鉴定工作，译者认为是缺少理论和实践依据的。对于高频电流的引爆问题，单纯从交流电流过零时有熄灭作用的设想考虑是不全面的。因为高频电流的变化复杂，范围广，而且同许多因素有关。目前世界各国，包括苏联在内都在进行研究，但还没有突破性的结论。我们也有一些想法，也在努力创造条件准备进行这项研究工作。

在本书的第二篇中，从理论上论述了不同形式的机械摩擦火花的点燃机理问题，以及摩擦火花产生的金属颗粒的氧化过程对点燃过程的影响。同时对摩擦和冲击火花的发生、形式、点燃的原理、试验研究和鉴定摩擦火花危险性方面提出了许多新的理论。并提供了鉴定摩擦火花安全性能的试验装置和方法。这些对我国目前的研究和在防止摩擦火花的危险性方面是很有帮助的。

在这一章里还介绍了用于制造矿井防爆电气设备外壳、手动工具、通风机等各种不同金属材料的本质安全性能方面的研究成果，对防止摩擦火花点燃可燃性气体方面的数据和参数。

本书提出的电气放电和摩擦火花防爆性方面的一些基本理论和实践，不仅对我国煤炭、石油、化工、煤气、化学和其它一些有爆炸危险场所的工矿企业在生产中保证电气放电的安全有所帮助，而且对从事这方面的科学研究单位，大专

院校的教师在进⾏这⽅⾯的研究⼯作时，也可以借鉴。

本书由于涉及到许多工业部门、专业理论和学科⽅⾯的术语，深感翻译困难。⼀些新词和⽤语，现有辞典查不到，只有根据意义主观定名，有些⼀定⽤得恰当。本书译完后由李义⾼级⼯程师协助校阅，提出不少宝贵意见，这⾥谨表⽰谢忱。虽经反复斟酌和多次修改定稿，错误之处在所难免，敬请⼴⼤读者批评指正。

目 录

前 言

译者的话

第一篇 电气放电点燃可燃性混合物

第一章 集中(电容)火花放电点燃气体、蒸汽—空气

可燃性混合物 1

第一节 点燃过程的机理(热点燃理论) 1

第二节 集中火花放电的能量平衡 17

第三节 火花放电持续时间对它点燃能力的影响。火焰核
及其扩展 21

第四节 按放电电容值和击穿电压值确定最小点燃能量的
设备和方法 26

第五节 放电间隙击穿电压的统计分布及其概率。概率理
论在用数学方法处理击穿电压测量结果中的应用 35

第六节 确定可燃性混合物最小点燃能量的示波器显示
法。火花放电的测热法 38

第七节 点燃可燃性混合物的统计特性 40

第八节 最易点燃的混合物成分的点燃极限 43

第九节 确定最小点燃能量的试验数据同理论值的比较〔43〕 62

第十节 触点的熄灭作用 68

第十一节 可燃气体及蒸汽—空气混合物按电气放电点燃
能力的分类 72

参考文献 80

第二章 静电放电点燃可燃性混合物 84

第一节 静电发生过程的后果 84

第二节	静电带电的机理	83
第三节	静电放电和它的基本特性	89
第四节	静电放电的各种形式	95
第五节	由静电引起的火灾和燃烧实例	102
第六节	研究两个导电电极间的静电放电	110
第七节	静电放电的点燃能力	146
第八节	保证静电放电本质安全性的方法	161
	参考文献	182

第三章 低功率电路内发生的放电点燃可燃性气体、蒸

汽—空气混合物

第一节	本质安全电路换接时发生的电气放电	188
第二节	本质安全电路的分类	196
第三节	点燃的统计特性及其规律	205
第四节	本质安全性的试验方法	211
第五节	计算和无试验槽鉴定电路本质安全性的原理	220
第六节	提高允许本质安全功率的原理	230
第七节	设计本质安全型电气设备的一些要求	256
	参考文献	266

第二篇 摩擦火花点燃可燃性气体混合物

第四章 摩擦和磨损的理论基础

第一节	摩擦的分子力学理论。影响摩擦的主要因素	270
第二节	物体摩擦和冲击时的磨损	274
第三节	摩擦表面上的深层膜	278
	参考文献	279

第五章 形成摩擦火花的机理

第一节	金属颗粒的氧化、点燃和燃烧	281
第二节	试验研究形成摩擦火花的机理	295
第三节	氧气含量对形成摩擦火花过程的影响	303

参考文献	306
第六章 摩擦火花点燃可燃性气体混合物的过程	307
第一节 用以研究的装置和设备	307
第二节 鉴定摩擦火花点燃能力的方法	312
第三节 爆炸危险混合物内氧气和可燃性物质含量对摩擦 火花点燃能力的影响	314
第四节 摩擦火花点燃可燃性混合物	320
参考文献	330
第七章 保证工业中摩擦火花的本质安全性	331
第一节 保证煤矿使用风力充填机和采煤机截煤机构工作 时的防爆性	331
第二节 防爆风机	332
第三节 本质安全型手动工具用材料	340
第四节 可动连接用材料	344
第五节 防火花涂层的采用	344
参考文献	347

第一篇 电气放电点燃可燃性混合物

第一章 集中（电容）火花放电点燃气体、 蒸汽—空气可燃性混合物

第一节 点燃过程的机理（热点燃理论）

在煤矿、石油加工、煤气、化学和其它工矿企业的许多工艺过程中，为了制定本质安全系统和应用等方面的安全标准，电气放电点燃能力的试验和理论研究有着极其重要的现实意义。

石油加工、煤气和化学工矿企业生产场所的大气中，包含着大量的气体和液体的蒸汽，它们在一定条件下可以与空气形成可燃性混合物。甚至在煤矿大气中，到目前为止，认为甲烷是主要的爆炸性气体，显而易见，还存在其它甲烷的同系物。对这些不同的可燃性混合物很难制定本质安全系统和将它们标准化。所以，对所有可燃性混合物都应当按照它们被电气放电点燃的点燃能力进行分类。

如果电路内，在正常或事故情况下发生的电气放电，不会点燃电气设备使用地点的可燃性混合物，才认为是安全的。

可燃性混合物的点燃过程是很复杂的，在很大程度上无法计算电气放电点燃能力的一些主要参数。电气放电的防爆性，必须用专门的试验装置作大量的试验才能得出有实用价值的结论。

研究电气放电点燃可燃性气体，蒸汽—空气混合物的问题，需要作许多的基础研究工作 [1~7]，然而就整体来说，点燃的理论问题到目前为止还没有完全解决。

气体中电气放电有以下几种形式：一次击穿火花放电或者多次击穿火花放电、电晕放电、辉光放电、弧光放电。

点火源（或点燃脉冲）可以是平面的，线性的或点状的。点火源释放出的能量分布是放电持续时间和气体热导的函数。

点燃还可区分成能量瞬时释放的点燃，例如电容放电的电气火花的点燃情况，和长时作用的点燃，例如由炽热金属丝的点燃。

在本章内，主要研究高压（将电容器在气体内充电到高的电压）集中火花放电强制点燃气体、蒸汽—空气混合物的问题。利用集中火花放电研究点燃的基本机理和化学上活性的混合物的一些燃烧现象，具有许多重要的优点。例如在电极之间的间隙不大时，这种放电几乎是理想的点状热源。除此而外，还可以得到接近于纯化学的，消除电极材料污染的净化点燃。借助于点状能源的点燃与它生成不固定的火焰核的性质有关，这种火焰核可以在面积稳定的火焰锋面内发展，而不会在温度波内熄灭。

鉴定集中火花放电点燃能力的可靠性，只有正确地选择放电的合理参数才能获得。

用电气放电点燃可燃性混合物，在不少作者的许多报告中都研究了点燃能力同火花放电的电气性能之间的相互联系。例如电压、能量、能量的容积密度、放电持续时间等等。火花放电的温度是很高的（理论上无限的），因而在解决强制点燃可燃性混合物的问题时不可能作为固定的参数。

苏联及其它各国的一些研究者在点燃可燃性气体、蒸汽—空气混合物方面的报告 [1~9] 中批判性地研究指出, 测量短时高压集中火花放电 (瞬时放热的热源) 点燃能力是为了获得能够点燃被研究可燃性混合物所需的能量。

鉴于电气放电 (击穿电气间隙) 现象的统计特性, 符·斯·克拉夫钦克 [10~12] 考虑到可燃性混合物的点燃概率, 用电容器储备的最小能量值, 继续进行了鉴定电气放电点燃能力的工作。

集中放电的能量用电容器的电容和击穿电压值来确定:

$$W = 0.5CU^2 \quad (1.1)$$

在公式 (1.1) 中 W —J, C —F, 而 U —V。因为公式 (1.1) 中没有考虑电容器消耗在热损失和其它部分的能量, 故对实际电容电路来说, 采用的最小点燃能量值具有一定的可靠性系数。

一、集中火花放电的某些特性

从高压集中火花放电点燃的观点来看, 最重要的突出特点是它作用的持续时间 (大约 $10^{-8} \sim 10^{-7}$ s) 短, 在这样短的放电过程中几乎放出了全部能量 (其中利用空气电容器时的滞后损失可忽略不计)。

集中放电还有一个特性即击穿电压——加到两电极间和引起两电极间击穿的电压值。

影响电极之间击穿电压值的各种不同的因素, 其中最重要的是: 电极间的距离、电极的形状、材料和表面质量、温度和电极之间的可燃性混合物种类, 加到电极上电压的极性和电压增高的特性、混合物的压力和成分、放电的畸变等等 [6, 11, 13, 14]。在多数情况下放电条件的稳定性决定于离子化区的影响。在电极间隙内, 气体的自然电离受宇宙

射线制约，明显是波动的。所以，在一些情况下，为了在放电间隙上得到稳定的放电，要合理地使用外部电离器，以消除放电区振荡的影响。

电极之间的间隙击穿以后，则在狭窄的放电通道内电导急剧增加。如所有条件都相同（指电场条件），而气体是纯净的，无粉尘和任何污染，那么就可以得到很直的火花通道。电场不均匀时，通道可能呈不规则的形状，带有分支或其它复杂的形状 [15]。电极处于通常位置时，通道被火舌围绕，这火舌也就是抛散出的电极材料的蒸汽。

只要放电间隙内形成导电通道，能量会立即开始强力地进入导电通道，且通过导电通道的电流快速增长。电流增长的速度通常由外电路的参数决定。通道被强烈地加热和膨胀，而且是以那样的速度膨胀，在初期阶段可以近似地观察到这个过程，正如冲击波传播一样。在报告 [16] 中曾指出，放电的等离子区急剧膨胀的机理是击穿以后通道内能量快速释放引起的，并伴随着产生冲击波爆炸型的流体动力过程。

集中放电时，电极间的间隙中的气体内发生的现象已经在报告 [17, 18] 中详细地研究过了。

放电通道内的温度是电流密度的直线函数。电流密度的最大值是在开始后 5×10^{-7} s 时获得的。在这个时间内火花放电的辐射具有最“炽热的”特性（大气光谱）。在图 1.1 中指出了火花放电通道内的电流密度对通道和火舌内温度的影响。按照恩·恩·索保列夫的数据，电流密度增长，放电炽热部分的温度也将在很大程度上增长。放电通道（等离子区）具有很高的温度（大约 10000~20000K）。靠近两电极附近火舌内的温度大约等于通道内的温度，并随着距电极的距离的增加而降低。放电火焰围绕着通道和火舌，也就是在

大气内放电发生的炽热气体。在图 1.2 中画出了火花放电的原理图 [19]。

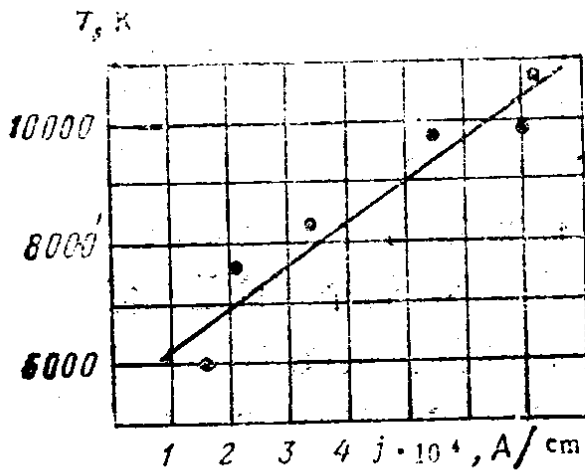


图 1.1 放电通道内的电流密度对放电通道和火舌温度的影响

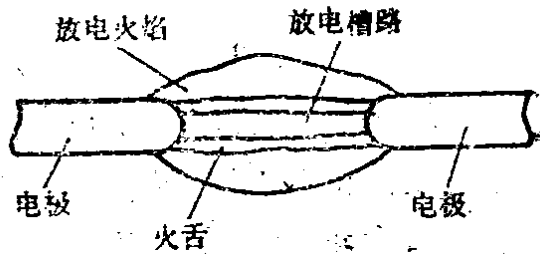


图 1.2 火花放电原理图

放电间隙内能量大量集中，发生了在稳定放电时不可能发生的过程。在放电通道区域内，与气体分子热扩散相似，发生强烈地离子化，达到 100%。这就引起火花放电区内直接发生的化学反应（燃烧）瞬时扩展，并在这种情况下，在化学反应瞬时扩展时，则完全不存在任何延迟时间。但是在放电区域内引起混合物燃烧以后，电气火花在火花停止以后不会引起火焰锋面稳定地传播。

二、化学上活性的，不流动的气体、蒸汽—空气(氧气)混合物被火花放电点燃的热理论

分析电气放电点燃可燃性混合物方面的文献数据指出，在文献中实际上存在着两种点燃理论：电气的和热的。

虽然在火花放电中电气现象和热现象都对可燃性混合物的点燃过程有影响，但是，在热理论中应是火花的热效应起决定性作用，因为迄今为止还不能精确地阐明，点燃时火花放电的电气特性起什么作用，但可以说电气放电造成离子化，

因此，要提高放电区内根的浓度。

电气的或点燃的活性理论，设想电气放电同效能大大超过热活性的化学活性相比具有特殊的能力。认为在火花放电区内大量的组成自由原子和根型的活化粒子，扩散到燃烧混合物中去并且激发燃烧的链式反应，一经开始以后就会自行传播下去。按照此理论，混合物的点燃条件决定于从火花放电区内逸散的活性粒子的浓度梯度 [20, 21]。把决定于放电电流值的反应速度作为点燃的标准。这个理论是在低压辉光放电中提供的试验为基础研究出的。试图用 CO 、 H_2 和 CH_4 氧化的例子确定总反应速度，不决定于放电释放的总能量，而决定于与其离子化分子浓度成比例的电流值和假设的同逸散的阴极金属颗粒和水分子化合物的特殊关系。放电点燃能力是随电路的电感，也就是随放电的频率和持续时间而改变。同时进行测定火花放电的热量，以（确定由放电散射到空气中的热量）。曾指出，在给定电容值，在频率降低（电感增加）的范围内，随着火花放电点燃能力的增加，测热计中的热量减少。按照芬奇的意见，这种结果排除了从热理论观点出发用试验阐明的可能性。

然而在报告 [19] 中指出，这一点同火花放电能量平衡的改变，也就是与热量的重新分配有联系。由放电带到空气（可燃性混合物）中的热量可以通过计算热传导和对流 (W_c)，以及消耗在电极上的热损失 (W_e) 和辐射热损失 (W_r) 的方法来确定。放电持续时间增加到一定的极限，由于热辐射损失减少，放电的点燃能力增加；在放电电路内电感继续增加时，由于电极上的热损失大量增加，放电的点燃能力开始减少。报告 [19] 还确证了放电的点燃能力主要决定于由放电转移到可燃性混合物中的部分能量。