

截止型本质安全电路

Intrinsically Safe Circuit with Cut-off Protection

于月森 伍小杰 著

非
外
借



科学出版社

截止型本质安全电路

于月森 伍小杰 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地论述了本质安全电路的原理、特性及应用,内容主要包括本质安全基础理论及发展概况、本质安全放电理论与本质安全防爆体系、自然放电模式下本质安全电路的放电特性研究、截止放电模式下本质安全电路的放电特性研究、提高本质安全电源容量的方法等。

本书适合从事煤矿、石油、化工等易燃、易爆危险工作环境下本质安全电路与开关电源研究、开发、生产和使用的工程技术人员和管理人员阅读,也可供高等学校教师、研究生及高年级学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

截止型本质安全电路/于月森,伍小杰著. —北京:科学出版社,2017.8
ISBN 978-7-03-051669-5

I. ①截… II. ①于… ②伍… III. ①本质安全电路 IV. ①TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第022176号

责任编辑:李涪汁 曾佳佳 赵鹏利/责任校对:王萌萌

责任印制:张倩/封面设计:许瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏志印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年8月第一版 开本:720×1000 1/16

2017年8月第一次印刷 印张:10 1/2

字数:211 000

定价:79.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

在危险环境下，普通的电气设备需要根据防爆要求，采取相应的防爆保护措施，设计制造成防爆电气设备。目前所使用的防爆型式，本质安全型是最为简单有效的防爆型式，在已知危险场所得到越来越广泛的应用。

作为本质安全防爆系统中的关键部分，本质安全电源具有安全可靠、结构简单、体积小、重量轻等优点。随着物联网技术在危险环境下的应用，本质安全型传感器等设备使用越来越多，本质安全防爆系统越来越庞大，对本质安全电源的容量也提出了更高的要求。在提升本质安全电源容量的措施中，采用截止型保护是非常简洁有效的方式，但是目前国内外在该领域理论研究方面还需要加强，尤其在采用截止型电路提高本质安全电源容量方面还未见有系统的论述，所以无论从完善理论体系方面还是从提供技术支撑方面，对截止型本质安全电路的研究都亟需开展。

作者的研究工作得到了国家自然科学基金“截止型 EC 电路短路火花放电机理及特性研究”(51304191)、中国博士后科学基金“截止型容性电路短路火花放电机理研究”(152650)、江苏省博士后科研资助计划“截止型容性本安电路短路火花放电特性研究”(1501084B)、中央高校基本科研业务费专项资金(2012QNB30)及 863 项目“薄煤层半煤岩掘进机关键技术研究”(2012AA061204)等的资助。在本书的研究过程中，得到了北方工业大学孟庆海教授，中煤科工集团上海研究院检测中心夏文刚所长、耿庆娥工程师，中国煤炭科工集团常州研究院有限公司左官芳工程师，以及广州市特种机电设备检测研究院李世光博士等的帮助和支持；同时戚文艳、张望、曾羿博、修俊瑞、谢冬莹、柳军停、卢振洲、吕威、王彬、胡义涛、左兰、何慧君等毕业或在读同学不同程度地参与了本书研究，在此一并表示感谢。

作者针对本质安全这一防爆型式详细阐述了本质安全基础理论，梳理了本质安全防爆体系，对比研究了自然放电模式及截止放电模式下本质安全电路的放电特性，概括了几种有效提高本质安全电源容量的方法，并将取得的研究成果整理成书。书中部分概念、分析方法、拓扑结构是作者整理后首次提出，由于作者水平有限，难免存在不妥之处，恳请广大读者不吝指正。

作 者

2017 年 3 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 防爆技术	2
1.2.1 爆炸三要素	2
1.2.2 防爆技术的分类	2
1.2.3 防爆型式	3
1.3 防爆系统	5
1.3.1 防爆系统的影响因素	5
1.3.2 煤矿井下防爆系统的设计考虑	7
1.3.3 本质安全防爆系统	7
1.3.4 本质安全防爆系统安全性评定	11
1.4 本质安全电源	12
1.4.1 本质安全电源分类	12
1.4.2 输出本质安全电源的组成	14
1.5 本质安全理论及国内外研究现状	15
1.5.1 本质安全理论的基本概念	15
1.5.2 本质安全电路的研究现状	16
1.5.3 本质安全电源的研究现状	20
1.5.4 本质安全电路研究对象的沿革	24
1.6 本书的主要内容简介	26
参考文献	27
第 2 章 本质安全放电理论与本质安全防爆体系	31
2.1 爆炸性气体的放电引燃	31
2.1.1 放电引燃理论	31
2.1.2 最小引燃能量	32
2.1.3 本质安全电路的气体放电类型	33
2.2 不同性质本质安全电路的自然放电规律	35
2.2.1 纯电阻电路	35

2.2.2 纯电感电路	37
2.2.3 纯电容电路	38
2.2.4 复合电路	39
2.3 本质安全电路的安全评价	40
2.3.1 本质安全电路的非爆炸性评价	40
2.3.2 本质安全电路的爆炸性试验方法	41
2.4 本质安全防爆系统的结构体系与本质安全电源分类	48
2.4.1 本质安全防爆系统的构成及特点	48
2.4.2 本质安全电源的类型及结构特点	51
2.5 本质安全电源的限流方式及保护模式	56
2.5.1 本质安全电源的限流方式	56
2.5.2 本质安全电源的保护模式	58
2.6 本章小结	59
参考文献	60
第3章 自然放电模式下本质安全电路的放电特性研究	62
3.1 CL 复合电路短路放电模型	62
3.1.1 振荡状态下的放电模型	64
3.1.2 振荡状态下的关键参数仿真分析	65
3.1.3 非振荡状态下的放电模型	67
3.1.4 非振荡状态下的关键参数仿真分析	68
3.2 CL 复合电路开路放电模型	71
3.2.1 开路放电模型	71
3.2.2 关键参数仿真分析	72
3.3 LC 复合电路短路放电模型	75
3.3.1 短路放电模型	75
3.3.2 关键参数仿真分析	77
3.4 LC 复合电路开路放电模型	80
3.4.1 开路放电模型	80
3.4.2 关键参数仿真分析	81
3.5 EC 电路的容性等效模型	83
3.5.1 EC 电路放电模型	84
3.5.2 关键参数仿真分析	84
3.6 本章小结	87
第4章 截止放电模式下本质安全电路的放电特性研究	89
4.1 本质安全电源保护电路	89

4.1.1 截止型输出短路保护电路组成及原理	90
4.1.2 截止型输出短路保护电路设计	93
4.2 截止型电容电路短路火花放电模型及特性分析	96
4.2.1 火花放电模型	96
4.2.2 本质安全特性分析	98
4.2.3 试验验证	100
4.3 截止型 CL 复合电路短路火花放电模型及特性分析	102
4.3.1 火花放电模型	102
4.3.2 本质安全特性分析	105
4.3.3 试验验证	107
4.4 CL 复合电路开路时电感的影响	109
4.5 截止型 EC 电路短路火花放电模型及其特性分析	111
4.5.1 放电特性分析	111
4.5.2 火花放电模型	112
4.5.3 关键参数仿真分析	115
4.5.4 试验验证	121
4.6 截止型保护电路直接截取特性	123
4.7 本章小结	124
参考文献	125
第 5 章 提高本质安全电源容量的方法	126
5.1 改善电源外特性	126
5.2 降低等效电感值	128
5.2.1 电感两端并联电阻	128
5.2.2 电感两端并联二极管	131
5.3 降低等效电容值	134
5.3.1 电容串联电阻	134
5.3.2 频率对提高电源容量的影响	136
5.3.3 交错并联磁集成技术对提高电源容量的影响	136
5.3.4 虚拟软开关对提高电源容量的影响	137
5.4 软火花电路	138
5.4.1 软火花电路模型	139
5.4.2 软火花电路的参数仿真分析	142
5.4.3 软火花电路的优化分析	147
5.4.4 软火花电路试验验证	148
5.5 缩短火花放电时间	152

5.6 本章小结	154
参考文献	155
第 6 章 总结与展望	156
6.1 总结	156
6.2 展望	157
6.2.1 对本质安全电路的展望	158
6.2.2 对本质安全电源的展望	159

第1章 绪 论

1.1 引 言

煤炭和石化等行业在生产过程中产生的气体或蒸气遇到空气会形成爆炸性混合物,从而使这些场所极其危险:石化行业危险性气体物质在加工、存储过程中会从管道、反应器和储罐中溢出或漏出,遇到空气后形成爆炸性混合物,一旦与点燃源相接触就会爆炸;煤矿生产过程中有瓦斯溢出,与空气混合后形成瓦斯爆炸环境,一旦接触点燃源就会发生瓦斯爆炸^[1]。

据资料介绍,不同应用场合下爆炸性危险区域的比例不同,在石油开采现场和炼油厂中有 60%~80%的场所属于危险区域;在化工行业中有 80%以上的场所属于危险区域;而在煤矿井下则约有 2/3 的场所为危险区域。国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC)对涉及防爆安全的领域进行了定义,常见的有炼油厂、化工厂、燃油燃气充装场所、医药制造业、气体管线和输配、分析实验室、表面喷涂工业、印刷行业、地下煤矿工业、手术室、制糖行业、木材加工场所、粮食处理与储存、金属表面研磨等。在以上危险场所中,当爆炸性危险物质发生泄漏时,就会与空气混合形成易燃易爆混合物,为安全生产带来隐患。

危险场所中若存在点燃源,在防护措施不够完善的情况下,将极可能导致灾难性爆炸事故的发生。例如,1987年3月15日,哈尔滨亚麻纺织厂发生了一起亚麻粉尘爆炸事故,损失重大,9500平方米厂房被炸毁,268台机器设备被炸坏,54人丧生,1821人受伤;2004年10月20日,河南省郑州煤炭工业(集团)有限责任公司太平煤矿也发生了一起特大瓦斯爆炸事故,死亡人数达148人,32人受伤,这次爆炸事故造成经济损失达3935.7万元;2010年5月8日晚,俄罗斯最大的煤矿拉斯帕德斯卡亚煤矿发生爆炸,当救护队进入矿井后又发生第二次爆炸,致使66人死亡,24人失踪,两次爆炸都源于甲烷,但引爆原因尚不明确;2015年12月16日,黑龙江省鹤岗市向阳煤矿发生瓦斯爆炸事故并引起井下火灾,事故发生时,井下共有52名矿工,其中33人平安升井,19人死亡。诸如此类事故,不胜枚举。这些危险因素的存在对人民的生命安全、财产安全、国民经济生产安全构成了重大威胁。引起这些爆炸事故的直接火源之一是电气设备产生的电火花。因此,电气设备安全运行是易燃易爆危险场所安全生产的关键。

1.2 防爆技术

电气危害主要由电火花、电弧、电热辐射烘烤、接触高温、静电等因素引起，而设备中产生以上因素的直接原因，则是电路中出现短路、过载、接触不良、发热、接地不当等现象。因此，用于危险场所的电气设备、电子装置等产品必须满足防爆要求。

普通的电气设备因可能会产生电火花、电弧和危险温度而成为一种强点燃源，在具有爆炸性危险的环境中是不能使用的，但普通的电气设备大部分可以根据防爆技术，采取规定的防爆保护措施，设计制造成适用于危险环境下使用的防爆电气设备。

国家标准 GB 3836 关于爆炸性气体环境用电气设备系列标准和 GB 12476 关于可燃性粉尘环境用电气设备系列标准，在防爆设备的结构和安装等方面规定了一系列预防措施，以确保当电气设备用于可能存在可燃性气体、蒸气，可燃性液体，可燃性粉尘、纤维等爆炸性环境危险场所时不构成点燃源。

1.2.1 爆炸三要素

引起瓦斯爆炸需要三个条件共同作用，缺一不可，分别是：①一定的瓦斯浓度，瓦斯浓度在 5%~16%；②引火温度的存在，通常为 650~750℃；③足够的氧气，空气中的含氧量在 12%以上，如图 1-1 所示。通过采取一定的措施，避免三个要素同时具备即可达到防止爆炸的目的。



图 1-1 爆炸三要素

1.2.2 防爆技术的分类

基于爆炸三要素的防爆技术主要有如下四类。

(1) 间隙防爆技术。早在 19 世纪初，德国科学家 Beyling 就研究了火焰穿过金属间隙所出现的现象，当时在研究过程中发现：当金属间隙的宽度小到一

定程度时, 试验所采用的圆柱形法兰容器中危险气体混合物的爆炸, 不会引起容器周围危险混合气体的爆炸。经过大量试验后发现, 其原因在于金属缝隙冷却了经过的爆炸火焰, 降低了从缝隙扩散出来的爆炸产物温度, 进而起到了熄灭火焰的作用, 同时也阻止了爆炸产物的飞出, 这就是“隔爆技术”的原理^[2]。该原理被应用于常见的隔爆型电气设备。

(2) 控制点燃能量的防爆技术。这种防爆技术是合理设计电路中的电气参数, 尽量降低电路的电压或电流值, 防止高电压或强电流进入危险性场所, 并且保证爆炸性危险环境中电路的任意部位发生故障(短路、断路)时所产生的电火花或热效应低于爆炸性混合物的最小点燃能量, 使之不能点燃^[3]。本质安全型电气设备采用的防爆技术就是基于该原理, 根据这种技术制造出来的防爆电气设备不必采用笨重的隔爆外壳, 因此重量轻、体积小、制造方便、维护量小, 更重要的是安全可靠, 此类产品可以应用到最危险的 0 区场所^[4]。因此, 此类电气设备在煤炭、石化等行业中得到了广泛应用, 并逐渐取代笨重的隔爆型结构。

(3) 隔离防爆技术。根据爆炸三要素原理, 通过采用隔离技术使点火源与周围的爆炸性混合物隔离开来, 从而避免爆炸的产生。目前国家标准中所规定的油浸型^[5]、浇封型^[6]、正压外壳型^[7]等防爆类型即属于该类技术, 所采用的对应的隔离方法为充油隔离、浇封隔离、充入正压气体隔离等。

(4) 提高电气安全措施的防爆技术。某些附加措施可以提高电气设备的安全性与可靠性, 这些措施可以用于正常情况下不会产生危险的电气设备, 该类防爆技术是通过提高安全措施加以实现的。国家标准中定义的增安型电气设备就是按照该类防爆技术的相关规定进行设计制造的。常见的提高安全性的措施有将接线的防松措施进一步加强、将散热措施加强、将材料的绝缘等级提高、将外壳的防护等级提高、将接线端子与外壳的电气间隙和爬电距离适当加大等^[8]。

1.2.3 防爆型式

以上所述四种防爆技术都是基于爆炸三要素原理, 设法排除三要素中某一个或几个, 使发生爆炸的概率降低到某一可接受的程度, 表 1-1 为国家标准中规定的各种防爆型式及所对应的防爆技术措施。

表 1-1 防爆型式与防爆技术措施的对应关系^[8]

序号	防爆型式	代号	标准体系	采用的技术措施
1	通用要求		GB 3836.1—2010	
2	隔爆型	d	GB 3836.2—2010	隔离存在的点燃源
3	增安型	e	GB 3836.3—2010	防止产生点火源

续表

序号	防爆型式	代号	标准体系	采用的技术措施
4	本质安全型	i	GB 3836.4—2010	限制点火源能量
5	正压型	p	GB 3836.5—2004	隔开危险物质与点火源
6	油浸型	o	GB 3836.6—2004	隔开危险物质与点火源
7	充砂型	q	GB 3836.7—2004	隔开危险物质与点火源
8	“n”型	Na, Nc, nL, nR, nZ	GB 3836.8—2014	减少能量或防止产生点火源
9	浇封型	m	GB 3836.9—2014	隔开危险物质与点火源
10	粉尘防爆型	DIP A/B	GB 12476.1—2013	外壳防护、限制表面温度

由表 1-1 可知，根据防爆设备采取的防爆技术有所不同，防爆电气设备可以分为如下类型：隔爆型、增安型、本质安全型、正压型、油浸型、充砂型、“n”型、浇封型和粉尘防爆型等。其中隔爆型、增安型、本质安全型、正压型和浇封型设备在实际中应用较多。

(1) 隔爆型。一种采用隔爆外壳实现的防爆型式，用字母“d”表示。隔爆外壳可以承受爆炸性混合物在其内部发生的剧烈爆炸而不会受到损坏，并且不会引起外部爆炸性气体环境的点燃。

(2) 增安型。一些电气设备在正常情况下不会产生电火花、电弧和危险温度，为了提高其安全程度而适当地采取一些附加措施，避免内部和外部部件出现危险高温、电弧和电火花，用字母“e”表示。

(3) 本质安全型。这种防爆型式要求设备内部电路在任何情况下产生的电火花和热效应均不能点燃可燃性气体混合物，用字母“i”表示。本质安全型是通过控制电路的电气参数使其最危险情况下产生的火花能量低于火花最小点燃能量，或者使导线及元器件因放热产生的表面温度低于气体混合物的限定温度，以保证设备的安全。

(4) 正压型。通过采取措施，保持设备外壳内部特定保护气体与外部周围爆炸性环境之间存在正压差，用字母“p”表示。通过采取保持外壳内部压力高于外部环境压力的正压差措施，使得爆炸性混合物不能进入外壳从而达到防爆的电气设备都是正压型的，其中保护气体用来保持正压或者稀释爆炸性气体或蒸气的浓度使其不发生爆炸，空气、氮气或者其他非可燃性气体以及它们的混合物都可以充当保护气体。

(5) 浇封型。有些电气部件在运行中可能会产生引起爆炸性混合气体爆炸的电火花、电弧或危险温度，将其用浇封剂浇封，这样周围的爆炸性混合物就不致被点燃，用字母“m”表示。浇封型设备能够防止内部的电气元件发生短路，能够避免产生电火花、电弧以及危险温度等引燃源，同时也能够防止其内部侵入爆炸性混合物。

其他防爆型式, 由于其工艺较复杂、成本较高, 应用较少。

对于弱电设备(如自动化仪器仪表、传感器、控制器等), 常采用的保护技术是本质安全型防爆技术。根据标准 GB 3836.4—2010 的规定, 本质安全型电气设备通过“将设备内部和暴露于潜在爆炸性环境的连接导线可能产生的电火花或热效应能量限制在不能产生点燃的水平”来达到防爆的目的。

本质安全型是一种简单有效的防爆型式, 因而相关理论的研究具有重要的学术意义和巨大的经济效益。由于本质安全型电气设备结构简单、体积小、重量轻, 在低压检测监控领域将会取代笨重的隔爆型电气设备, 本质安全防爆技术将成为爆炸性危险环境中检测监控设备的发展方向。

1.3 防 爆 系 统

一些诸如石化、煤炭等行业, 在生产及运输过程中都不可避免地会产生易燃易爆蒸气、粉尘等可燃性物质, 与空气结合后就会形成爆炸性混合物, 一旦条件具备, 极易发生爆炸, 危害极大。于是, 人们为了防止爆炸性危险环境的形成及避免爆炸事故的发生采取了多种措施, 必须设计一个防爆系统来完成这些行业的生产、加工及储运。

1.3.1 防爆系统的影响因素

设计一个防爆系统往往需要考虑多方面的因素, 需要了解易燃易爆性物质的分类、危险场所的划分以及爆炸性混合物产生爆炸的条件。

1. 易燃易爆性物质的分类

首先是对爆炸性环境的分类以及易燃易爆物质的分级, 爆炸性环境指的是大气环境下, 可燃性物质以气体、蒸气、粉尘等多种形式与空气形成的混合物, 在被点燃后, 能够自行燃烧并能传播的环境。

爆炸性环境按照爆炸性物质的形态可以分为爆炸性气体环境和爆炸性粉尘环境; 按照爆炸性气体类型的不同又可将爆炸性气体环境分为 I 类和 II 类两种类型。因此, 爆炸性环境可以分为: I 类, 即煤矿甲烷(瓦斯)气体环境; II 类, 即除煤矿中甲烷气体之外的爆炸性气体环境; III 类, 即爆炸性粉尘(纤维或飞絮物)环境。

可见, I 类和 II 类爆炸性物质以气态形式存在。在分类的基础上, 再根据不同的点燃特性对爆炸性气体进行分级。我国及 IEC 标准的爆炸性气体分级如表 1-2 所示。

表 1-2 我国及 IEC 标准的爆炸性气体分级

典型气体	中国、IEC 标准	最易引燃浓度/%	点燃特性
甲烷	I	8.3 (±0.3)	难
丙烷	II A	5.3 (±0.3)	↓
乙烯	II B	7.8 (±0.3)	
氢气	II C	21 (±0.3)	
乙炔	II C	2.5 (±0.3)	

2. 危险场所的划分

所谓危险场所是指由于存在易燃易爆物质（如气体、液体甚至粉尘等）而可能引起爆炸等危险事故的场所。该类场所在石化行业中通常为爆炸性物质在生产、加工和存储过程中所涉及的场所，在煤炭行业中通常为井下采煤工作面不断渗出的瓦斯所涉及的场所。

对于危险场所的划分，按照不同的标准有不同分类：根据危险环境中爆炸性物质形态的不同，可分为可燃性粉尘环境与爆炸性气体环境两种；由于爆炸性物质在危险场所中存在的时间各不相同，因此可以将危险场所划分成三个区，如表 1-3 所示。其中爆炸性气体环境中的三个区分别是 0 区（Zone 0）、1 区（Zone 1）和 2 区（Zone 2）。对于可燃性粉尘环境，三个区是 00 区、01 区和 02 区，分别类似于爆炸性气体环境的 0 区、1 区和 2 区。

表 1-3 危险场所的划分

危险区分级 气体（粉尘）	出现的时间/(h/年)	出现的可能性
0 区（Zone 0）	>1000	一直或长时间存在
1 区（Zone 1）	10~1000	在设备的正常工作过程中有可能发生或存在
2 区（Zone 2）	0.1~10	一般情况下不存在，即使偶尔发生，也是短时间存在

3. 爆炸性混合物产生爆炸的条件

仅就爆炸性气体与可燃性粉尘或混合而成的爆炸性混合物而言，发生爆炸需要满足三个条件^[9]，即前面所述的爆炸三要素。爆炸的产生必须同时具备该三个条件，三者缺一不可，否则就不会产生燃烧或爆炸。基于该原理产生了多种防爆措施，进而形成了不同的防爆技术，应用于电气设备上，就形成了不同防爆型式的防爆电气产品，由防爆电气产品而构成的系统就是防爆系统。

1.3.2 煤矿井下防爆系统的设计考虑

煤矿井下防爆系统的设计,主要考虑的问题就是如何防止点燃瓦斯等爆炸性气体。为了避免瓦斯爆炸,我国煤矿已经采取了许多措施,其中主要包括防止易燃气体的产生和积累、除去潜在点火源等方法。要想消除潜在火源,最有效的措施就是在含有爆炸性气体的危险场所中全部使用防爆电气设备。

目前煤矿井下防爆系统中采用的防爆技术还是以隔爆型为主,但是防爆技术未来的发展方向将会是本质安全型的,因为采用隔爆技术的电气设备不仅体积庞大而且非常笨重,给生产加工带来诸多的不便,而本质安全型电气设备的电路本身就是安全的,所产生的电火花、电弧和热量都不会引燃周围爆炸性混合物。本质安全型电气设备不需要专用的防爆外壳,简化了设备的结构,缩小了设备的体积,减轻了重量,具有安全可靠、结构简单、体积小、重量轻、制造维修方便等特点,是一种十分理想的防爆电气设备。

但由于本质安全型电气设备的最大输出功率只能做到几十瓦左右,使用范围受到限制,它主要应用在监控、信号、通信和控制系统以及仪器、仪表等方面。并且有时候把整个电路都设计成本质安全型会很困难,所以目前很多防爆电气产品都设计成隔爆兼本质安全型。

防爆系统中用于煤矿安全监控的电气设备必须性能可靠、工作稳定,严禁由于设备在设计、制造中的隐患引起瓦斯、煤尘爆炸等事故或危及人身安全。煤矿安全监控设备必须按照有关国家标准和行业标准进行制造,同时还要通过国家质量监督检验检疫总局认证的检测机构的型式检验,并取得“MA 标志准用证”,从而确保其产品质量。用于爆炸性环境的煤矿安全监控设备,需要由国家质量监督检验检疫总局认证的检测机构进行防爆检验,并取得“防爆合格证”。

1.3.3 本质安全防爆系统

对于本质安全防爆领域来说,本质安全防爆系统主要由本质安全型现场设备、关联设备(安全栅)和电缆(其作用是连接本质安全型现场设备与关联设备)三者构成,如图1-2所示。从该图中可以很明显地看出,本质安全型现场设备、关联设备及相应设备的连接电路如连接电缆,都会对本质安全防爆系统的防爆性能有所影响。

1. 本质安全型现场设备

本质安全型现场设备是整个防爆系统中的核心部分,首先对本质安全型现场设备进行分类,即简单设备和非简单设备。其中,所谓简单设备就是指该电气设

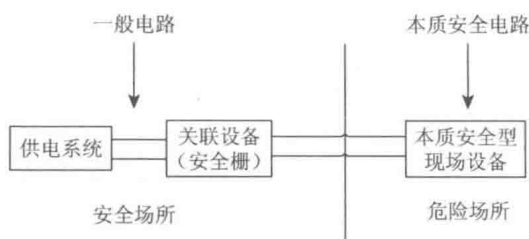


图 1-2 本质安全防爆系统

备产生或者存储的能量不能超过规定的值（1.2V、0.1A、25mW 和 20μJ），这些电气设备包括热电偶、单触点、RTDs、LEDs 以及电阻元器件等；相对简单设备来说，非简单设备指的是该设备有可能产生的或者储存的能量超过以上规定的值，代表产品有很多，如电磁阀、变送器、转换器以及接近开关等。

本质安全防爆系统在实际应用时有几方面需要考虑：一方面是现场设备中的简单设备是不需要认证的，可以直接应用于现场；另一方面是所有的非简单设备必须经过防爆安全认证，必须都是本质安全型的。这里所说的本质安全型现场设备是指它本身的所有电路都必须是本质安全型的，这些电路的电压电流值或者电容电感值不能超过对应电路限定的值，必须严格限定在安全的范围内。此外，还应该满足：即使电路发生短路、开路、接地故障或者是电路的元器件损坏而引起了火花，该能量也不足以点燃危险性爆炸混合气体。国际认证机构在认证这些本质安全设备时通常会给出这些相应的安全参数：

- (1) $I_{\max}$ ——本质安全设备能够承受的最大电流（故障条件下）；
- (2) $U_{\max}$ ——本质安全设备能够承受的最大电压（故障条件下）；
- (3) L_i ——本质安全设备输入侧的电感（未加保护）；
- (4) C_i ——本质安全设备输入侧的电容（未加保护）。

2. 关联设备（安全栅）

1) 关联设备

关联设备是本质安全防爆系统中重要的组成部分之一。它与本质安全型现场设备密切相关，这种电路本身不要求是本质安全型的，它只是一种限能电路，能够控制本质安全电路产生的能量，可以有效地保护危险环境中的现场设备。一般在正常情况下，关联设备可以使整个系统正常工作；但在系统出现故障时，它可以限制电路中的电压电流值，保证电路的安全性能。例如，一个用于危险环境中的本质安全型压力变送器，通常称为一次仪表。与一次仪表不同的是，二次仪表用于安全环境中，它主要是给变送器提供电源并且接受变送器传来的压力信号。因为二次仪表用于安全环境中，按理说应该不要求是防爆类型的，但是不能忽略

的一点是,本质安全型压力变送器的电源是由二次仪表提供的,考虑到防爆要求,二次仪表中的电源必须设计成本质安全型。综上所述,关联设备中,除了把电源设计成本质安全型外,其他部分均可设计成非本质安全型。

关联设备对危险环境中本质安全设备的安全工作起到非常关键的作用,所以必须严格控制它输送到危险环境中本质安全设备的电气参数,通常有:

- (1) U_{oc} ——关联设备开路电压(故障时,向危险场所传送的最大可能电压);
- (2) I_{sc} ——关联设备短路电流(故障时,向危险场所传送的最大可能电流);
- (3) C_o ——关联设备输出侧允许的最大外接电容(通常包含连接电缆电容);
- (4) L_o ——关联设备输出侧允许的最大外接电感(通常包含连接电缆电感)。

2) 安全栅的分析与设计

随着科技的发展与进步,防爆系统中的安全栅也在不断地改进。安全栅是用来连接本质安全电路与非本质安全电路的关联设备,它的用途是限制本质安全电路的电压和电流,使其不至于达到点燃爆炸性气体的程度。目前使用的大多数安全栅都是由电阻、稳压二极管以及晶体管组成的限压、限流电路。以前的安全栅却只采用限流电阻和齐纳二极管,往往在非本质安全电路的输出电源端串联电阻,从而可以限制最大输出电流,确保电路的安全稳定运行;同时还在非本质安全电路的输出端并联稳压二极管来限制最大输出电压。然而,因为受到功耗、温升以及稳压管本身的限制,输出电流和电压都不可能达到很大的值,所以输送给负载的功率一般都比较低。

总体上安全栅可以分为两种,一种是齐纳式安全栅,另一种是隔离式安全栅。

齐纳式安全栅的限能功能是通过限压、限流电路以及快速熔断器实现的,基本结构如图 1-3 所示。

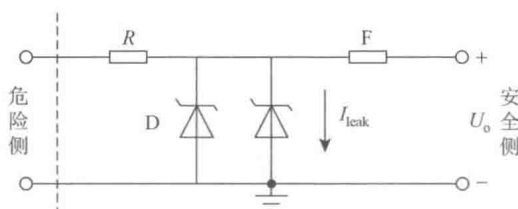


图 1-3 齐纳式安全栅电路原理图

当稳压二极管两端的电压值(安全栅的输出电压)低于其安全限定电压时,稳压二极管反向截止,漏电流 I_{leak} 近似为零;而当输出电压高于稳压管的安全限定电压时,稳压管将反向导通,漏电流 I_{leak} 立刻上升到很大的值,确保输出电压稳定在安全限定电压范围内,从而将安全栅的输出能量限制在安全的范围内,不会危及生产和现场人员的安全。图中的电阻 R 是用来限制电流的,当电压被限制后,