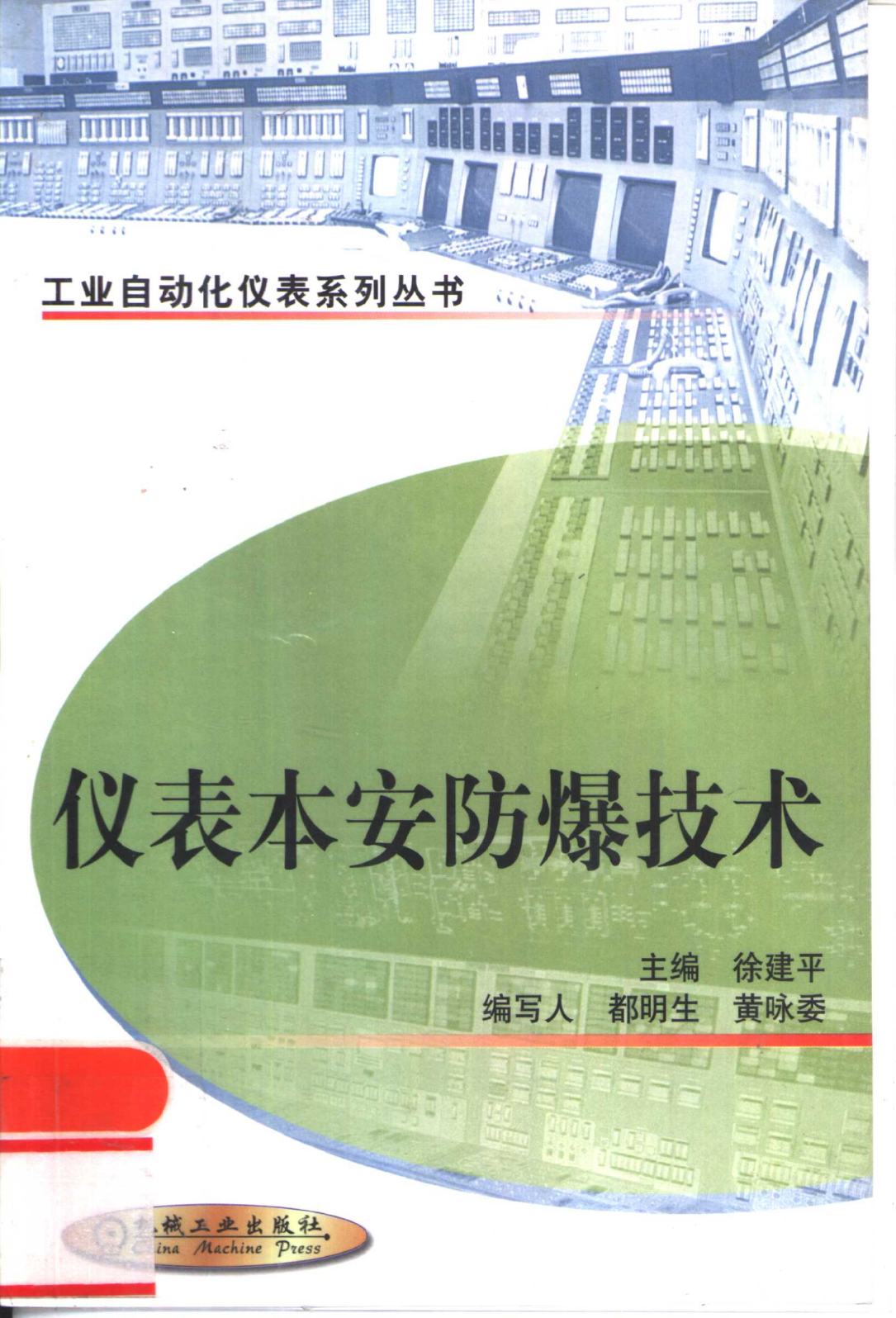




工业自动化仪表系列丛书

仪表本安防爆技术

主编 徐建平
编写人 都明生 黄咏委

机械工业出版社
China Machine Press

仪表本安防爆技术

主 编 徐建平
编写人 都明生 黄咏委



机械工业出版社

本书是工业自动化仪表系列丛书之一。本书基于工业防爆基础理论和本安防爆基本原理,全面论述了本安防爆技术的基本概念、特点和重要参数,本安仪表的分类、防爆标志的确定及安全参数等。并提出了电路设计和结构设计的准则,结合现场总线仪表及其系统,分析了本安现场总线智能仪表设计的总体技术要求及关键技术。对本安电路的型式检查、型式试验及本安仪表的标志等均作了介绍。

本书可以作为石油、化工、轻工、纺织、煤炭等领域仪器仪表与自动化专业的工程技术人员、大专院校师生的参考书,也可供从事仪表设计、制造人员作为培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

仪表本安防爆技术/徐建平主编. —北京:机械工业出版社,2002.4
(工业自动化仪表系列丛书)
ISBN 7-111-10048-4

Ⅰ. 仪… Ⅱ. 徐… Ⅲ. 仪表-防爆-安全技术
N. TH7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 016211 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:张沪光 版式设计:冉晓华 责任校对:魏俊云
封面设计:姚毅 责任印制:何全君
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷
850mm×1168mm^{1/32}·4.25 印张·112 千字
0 001—4 000 册
定价:10.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

**“工业自动化仪表系列丛书”
编辑委员会**

主任委员	张继培		
副主任委员	史美纪 (常务)	吴钦炜	
	王璐璐	罗命钧	秦起佑
	周 娟	张沪光	张永江
委 员	薛生虎	杜水友	梁国伟
	蔡武昌	高克成	于世南
	陈晓竹	李铁桥	周有海
	吴 哈	彭 瑜	张雪申
	俞金寿	汪克成	缪学勤
	刘建侯	徐建平	

编写说明

工业自动化仪表是国民经济各部门重要的现代技术装备之一，广泛用于冶金、电力、石油、化工、轻工、纺织，交通、建筑、食品、医药、农业、环保以及日常生活等各个领域。

工业自动化仪表是对物质世界的信息进行自动测量与控制的基础手段和设备，是信息产业的源头和组成部分。

为了认真总结国内外工业自动化仪表的先进经验，提高我国工业自动化仪表的科技、生产、应用水平，经中国仪器仪表学会、上海工业自动化仪表研究所、机械工业信息研究院和中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会共同研究，决定组织编写、出版“工业自动化仪表系列丛书”。

目前，首先陆续出版以下 12 种：《温度测量技术及仪表》、《压力测量技术及仪表》、《流量测量技术及仪表》、《物位测量技术及仪表》、《机械量测量技术及仪表》、《物性分析技术及仪表》、《显示调节技术及仪表》、《可编程序控制器及其应用》、《执行器》、《过程控制系统和应用》、《仪表可靠性工程和环境适应性技术》、《仪表本安防爆技术》。

本系列丛书内容完整，系列齐全，基本上反映了工业自动化仪表技术与产品的全貌，文字力求深入浅出，通俗易懂。系列丛书既可作为从事工业自动化仪表专业的工程技术人员及广大用户的参考书籍，也可作为大专院校教材及科研、设计、制造、使用单位工程技术人员培训教材。

编写出版“工业自动化仪表系列丛书”，对于我们是一种尝试，难免存在不少问题和缺点，希望广大读者给予支持和帮助，并欢迎大家批评指正。

“工业自动化仪表系列丛书”编辑委员会

前 言

随着石油、化工等产业的飞速发展，防止事故性爆炸的发生已成为十分突出的问题。为了确保生产现场的安全，工业过程自动化仪表正扮演着越来越重要的角色，它们除了必须实现正常的生产过程测量与控制功能外，还往往同时要求起到各种各样的安全监测和联锁保护的作用。然而，对于爆炸性危险场所，自动化仪表及其系统自身的电气防爆安全问题应是人们必须关注的又一重要安全课题。

半个多世纪来，电气防爆技术有了突飞猛进的发展。目前，就世界范围内被普遍接受的防爆技术有：隔爆型、增安型、本质安全型、正压型、充油型、浇封型和无火花型等。每一种防爆型式都有各自的特点和适用范围。由于采用本质安全防爆技术制造的电气设备不仅具有重量轻、体积小、成本低的特点，而且还可实现带电维护操作和0区危险场所应用，因此这种防爆技术已为越来越多的防爆仪器仪表制造厂商和用户所选用。特别是随着电子技术的快速发展和低功耗器件的不断诞生，本质安全（以下简称“本安”）防爆技术已成为自动化仪表最重要的防爆技术手段。这对于现场总线自动化仪表及其系统也不例外。

本书基于工业防爆基础理论和本安防爆基本原理，全面论述了本安防爆技术的特点，详细解释了本安系统的基本概念和重要参数，对本安仪表的分类、防爆标志的确定及安全参数等分别作了说明；进而，作为本书的核心，首先扼要地提出了电路设计和结构设计的准则，并对最小点燃曲线的应用、电路设计分析程序、电路分析要点、电路设计技巧、简单电路设计评定以及本安仪表结构设计基本要求等一一作了甚为详细的描述。其后，结合现场总线仪表及其系统的特点，重点分析了本安现场总线智能仪表设

计的总体技术要求，并就组成本安现场总线系统的现场设备、关联设备、终端器和现场总线媒体电缆等技术关键作了较为全面的介绍。最后，对本安电路的型式检查和型式试验，以及本安仪表的标志等也作了说明。

本书是我国第一部全面系统介绍仪表本安防爆技术的专业书籍，内容科学、先进、实用。它对广大工程技术人员研究、设计、开发和应用本安型防爆仪表产品及其系统具有重要参考价值。

本书由国家级仪器仪表防爆安全监督检验站负责编写。其中，第1章至第5章和第7章由徐建平教授级高工编写，第6章和第9章由都明生教授级高工编写，第8章由黄咏委高级工程师编写。本书在编写过程中还得到了国家级仪器仪表防爆安全监督检验站其他相关同志的帮助，在此一并致以衷心感谢。

由于水平有限、时间仓促，不妥之处，请广大读者予以批评指正。

编 者

2001年11月于上海

常用符号表

MIV: 最小点燃电压 (V)

MIC: 最小点燃电流 (A)

U_o : 最高开路电压 (V)

I_o : 最大短路电流 (A)

P_o : 最大输出功率 (W)

C_o : 最大外部电容 (μF)

L_o : 最大外部电感 (mH)

L_o/R_o : 最大外部电感和电阻比

U_i : 最高输入电压 (V)

I_i : 最大输入电流 (A)

P_i : 最大输入功率 (W)

C_i : 最大内部电容 (μF)

L_i : 最大内部电感 (mH)

L_i/R_i : 最大内部电感和电阻比

U_m : 最高电压 (V)

目 录

编写说明

前言

常用符号表

第 1 章 防爆基础理论概要	1
1.1 引言	1
1.2 爆炸性物质的分类	2
1.3 爆炸性气体的分级和分组	2
1.3.1 爆炸性气体的分级	2
1.3.2 爆炸性气体的分组	3
1.4 爆炸性危险场所的区域划分	4
1.5 危险场所防爆技术	7
1.5.1 爆炸三角形原理	7
1.5.2 电气设备防爆型式	8
1.5.3 防爆电气设备选型	9
第 2 章 本质安全基本知识	11
2.1 本质安全技术的由来及发展过程	11
2.2 名词术语	13
2.3 本安防爆技术的基本原理及特点	17
2.4 本安仪表的分类及防爆标志	18
2.4.1 本安仪表的分类	18
2.4.2 防爆标志及其确定方法	21
2.5 安全系数	23
2.5.1 ia 级安全系数	23
2.5.2 ib 级安全系数	23
第 3 章 本安仪表的设计准则	25
3.1 本安仪表的基本设计要求	25

3.2 本安电路设计	26
3.2.1 最小点燃曲线	26
3.2.2 本安电路设计分析程序	27
3.2.3 正常工作情况分析要点	28
3.2.4 电路故障状态分析要点	28
3.2.5 本安电路设计	29
3.2.6 电容和电感储能的抑制	30
3.2.7 最高表面温度的控制	32
第4章 简单设备与简单电路	34
4.1 简单设备	34
4.2 简单电路设计示例	35
4.2.1 简单电阻电路	35
4.2.2 简单电感电路	35
4.2.3 简单电容电路	37
第5章 本安仪表的结构设计	39
5.1 与本安有关的元件	39
5.1.1 元件额定值	39
5.1.2 熔断器	39
5.1.3 单体电池（原电池和蓄电池）和电池组	40
5.1.4 半导体器件	41
5.1.5 压电晶体	41
5.2 本安仪表结构设计要求	41
5.2.1 可靠元件或组件	41
5.2.2 电气间隙和爬电距离	45
5.2.3 防护外壳	46
5.2.4 其他设计要求	46
第6章 安全栅	51
6.1 安全栅的基本形式	51
6.2 齐纳式安全栅	51
6.2.1 齐纳式安全栅的基本组成	51
6.2.2 齐纳式安全栅的基本原理	52
6.2.3 齐纳式安全栅的关键部件	53

6.3 隔离式安全栅	54
6.3.1 隔离式安全栅的基本组成	54
6.3.2 隔离式安全栅的基本原理	54
6.3.3 隔离式安全栅的基本形式	55
6.4 安全栅的结构设计	56
6.4.1 齐纳式安全栅的结构设计	56
6.4.2 隔离式安全栅的结构设计	56
第7章 本安系统设计要求	57
7.1 本安系统基本概念	57
7.1.1 本安系统的基本构成	57
7.1.2 本安系统评定方法	59
7.2 常规本安系统设计要求	61
7.2.1 本安系统配置一般要求	61
7.2.2 本安系统的优化配置	64
7.2.3 本安系统现场布线原则	65
7.3 现场总线本安防爆技术	65
7.3.1 本安现场总线系统的结构	66
7.3.2 本安现场总线系统认证技术	67
7.3.3 现场总线系统本安设计总体要求	69
7.3.4 一种新的本安现场总线系统认证技术 ——FISCO 概念	75
第8章 本安电路的型式检查和型式试验	78
8.1 本安电路的型式检查	78
8.1.1 火花点燃试验	78
8.1.2 温度试验	82
8.1.3 介电强度试验	82
8.1.4 小元件点燃试验	83
8.1.5 规定不严格的元件参数的测定	83
8.1.6 单体电池和电池组试验	84
8.1.7 机械试验	85
8.1.8 装有压电器件的电气设备试验	86
8.1.9 二极管安全栅和安全分流器的型式试验	87

8.1.10 电缆的拔脱试验	87
8.2 例行检查和例行试验	88
8.2.1 二极管安全栅的例行试验	88
8.2.2 电源变压器的例行试验	88
第9章 本安仪表的标志	89
9.1 一般要求	89
9.2 本安相关的标志	89
9.3 其他标志	90
附录	91
附录 A 与电压和设备组别相对应的允许短路电流和允 许电容	91
附录 B 最小点燃曲线	109
附录 C 可燃性气体、蒸气级别和温度组别 (参考件)	115
参考文献	122
其他标准与规范	123

第 1 章 防爆基础理论概要

1.1 引言

随着石油、化工、煤炭、冶金等工业的迅速发展，生产安全已引起了社会各界的普遍重视。特别是由于生产规模的不断扩大和自动化程度的不断提高，在生产过程中，生产现场将不可避免地产生爆炸性物质的泄漏，形成爆炸性危险场所。这给包括自动化仪表在内的各类电气设备的安全应用增加了困难。

所谓危险场所是指存在或可能存在可燃性气体与空气混合物的场所。据资料，煤矿井下约有 2/3 的场所属于爆炸性危险场所；石油开采现场和精炼厂约有 60%~80% 的场所属于爆炸性危险场所；在化学工业中，约有 80% 以上的生产车间是爆炸性危险场所。使用于这些危险场所的电气设备都必须采取特殊有效的预防措施来避免其成为危险点燃源。

通常情况下，为了使采取的预防措施做到经济、合理、可靠，爆炸性气体危险环境至少需按两种不同的形式划分场所。其一是，按气体的类型进行划分（即气体分级和分组）；其二是，按出现可燃性气体的可能性进行划分（即区域）。它们是定义爆炸性危险场所的独立参数。

目前，世界各国对爆炸性危险场所的定义不尽相同，但归纳起来大致可分为两大派系。其中，包括中国和欧洲国家在内的大多数国家采用国际电工委员会（IEC）的划分方法，而以美国和加拿大为主要代表的其他国家则采用北美划分方法。尽管美国和加拿大已开始接纳 IEC 划分方法，但预计在今后 10 年内尚不可能全面废弃北美划分方法。因此，为了有利于读者系统地了解两种不同的派系，下面相关章节将同时介绍两种派系的基本概念和主

要差别。

1.2 爆炸性物质的分类

在我国，爆炸性物质分为三类：

I 类：矿井甲烷；

II 类：爆炸性气体混合物（含蒸气、薄雾）；

III 类：爆炸性粉尘和纤维。

北美将爆炸性物质分为三类（英文称之为“Class”，常译为“级”）。它们分别是：

Class I：爆炸性气体；

Class II：爆炸性粉尘；

Class III：纤维。

1.3 爆炸性气体的分级和分组

1.3.1 爆炸性气体的分级

对于 I 类爆炸性物质（只有甲烷气体一种）不分级。

对于 II 类爆炸性气体，可按其不同的点燃特性进行分级。

我国与 IEC 标准一样，对 II 类爆炸性气体，按其最大试验安全间隙（MESG）和最小点燃电流比（MICR）进一步分为 A、B、C 三级。其中，A 级的代表气体是丙烷；B 级的代表气体是乙烯；C 级的代表气体是氢气。

北美国家将爆炸性气体（Class I）又细分为 A、B、C 和 D 四级（英文称之为“Group”，常译为“组”）。其中，Group A 的代表气体是乙炔；Group B 的代表气体是氢气；Group C 的代表气体是乙烯；Group D 的代表气体是丙烷和甲烷。

由此可见，两种不同气体分级方法在形式上存在较大的差异。但是，仔细分析后可以发现它们在本质上却有着一定的联系。表 1-1 给出了两者的对应关系。

从表中可以看出，甲烷需要的点燃能量最大，I C 级气体则最易被点燃。

表 1-1 不同气体分级体系对比

典型气体	中国、IEC 欧洲标准	北美标准	点燃特性
甲烷	I	D	难 ↓ 易
丙烷	I A		
乙烯	I B	C	
氢气	I C	B	
乙炔		A	

1.3.2 爆炸性气体的分组

温度（热表面）是爆炸性气体产生爆炸的重要点燃源。每一种爆炸性气体都有一个特定的温度。在该温度下，即使没有任何外界点火源的条件下，它都将发生点燃。通常，人们将这一温度称作为该气体的引燃温度（AIT）。它是反映爆炸性气体点燃特性的又一个重要特征参数。

按照 IEC 标准的推荐，我国将爆炸性气体按其引燃温度分为 T1~T6 六个组别。北美对温度组别的划分与 IEC 基本一致，它们只是将部分温度组别划分得更细而已。表 1-2 给出了两种分组体系的对应关系。

从表 1-2 可以看出，不同的爆炸性气体的引燃温度千差万别，各不相同。温度组别为 T1 的气体引燃温度最高，而温度组别为 T6 的气体则最易被点燃。在实践中，我们应严格控制电气设备的最高表面温度，并使之不能点燃设备使用环境中最易点燃的爆炸性气体混合物，即保证设备的最高表面温度不超过设备可能接触到的气体的引燃温度。因此，就电气设备的最高表面温度而言，凡满足 T6 温度组别气体环境用的电气设备，它也必定能满足 T1~T5 组别的气体环境的应用要求。

附录 C 列举了绝大多数可燃性气体、蒸气的级别和组别。借助于该附录，我们可以分别查阅出特定可燃性气体、蒸气的级别和组别。

如下。

1) 0 区 (Zone 0): 在正常情况下, 爆炸性气体混合物连续地或长时期地存在的场所。

2) 1 区 (Zone 1): 在正常情况下, 爆炸性气体混合物有可能出现的场所。

3) 2 区 (Zone 2): 在正常情况下, 爆炸性气体混合物不可能出现, 或即使出现也只是短时间存在的场所。

这里的正常工作是指正常的开车、运转、停车、易燃物质产品的装卸、密闭容器盖的开闭, 安全阀、排放阀以及所在工厂设备在涉及规定要求范围内的工作状态。

从上述定义可知, 三个区域中, 0 区是最危险的场所, 而 2 区相对来说较安全。这是一种传统的定性判断的概念。通常, 对于一个具有潜在爆炸危险气体的工厂, 可基于区域的定义和相关的要素划分区域。划分时, 需要考虑下列主要因素:

- 1) 存在危险气体的可能性;
- 2) 危险气体的释放量;
- 3) 危险气体的特性 (如: 气体的密度等);
- 4) 环境条件 (如: 气压、温度、湿度以及通风情况等);
- 5) 远离释放源的距离。

此外, 在具体的划分实践中, 通常还必须同时考虑由爆炸产生的后果的严重性。如果爆炸可能会导致大量人身伤亡, 则危险区域的划分应提高一级。但是, 对于装有自动控制的检测仪器, 当场所内任意地点的混合物浓度接近爆炸下限的 25% 时, 能可靠地发出报警并同时起动的有效通风设施的场所可降低一级。

当符合下列条件时, 可划分为非爆炸危险区域。

- 1) 没有释放源而易燃物质又不可能侵入的区域;
- 2) 易燃物质可能出现的最高体积浓度不超过爆炸下限 (LEL) 的 10%;
- 3) 在生产过程中, 使用明火的设备附近或炽热部件表面温度超过区域内易燃物质引燃温度的设备附近;