

ADB

亚行清洁能源融资伙伴基金赠款
中国农村能源生态建设二期项目培训教材



沼气工程安全生产 管理手册

王久臣 杨世关 万小春 主 编

农业部对外经济合作中心
中国农村能源行业协会 组编

 中国农业出版社

沼气工程安全生产管理手册

王久臣 杨世关 万小春 主编

农业部对外经济合作中心 组编
中国农村能源行业协会

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

沼气工程安全生产管理手册 / 王久臣, 杨世关, 万小春主编; 农业部对外经济合作中心, 中国农村能源行业协会组编. —北京: 中国农业出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-109-22427-8

I. ①沼… II. ①王… ②杨… ③万… ④农… ⑤中… III. ①沼气工程—安全生产—生产管理—技术手册 IV. ①S216.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 290341 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)
(邮政编码 100125)
责任编辑 王琦璐 陈 曦

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行
2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 14

字数: 280 千字

定价: 39.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

本书编委会

主 任 杨 易

副主任 王久臣 冯 勇

委 员 耿大立 高文永 李景明 王 庚

强少杰 曾邦龙 蔡昌达 杨世关

万小春

主 编 王久臣 杨世关 万小春

副主编 雷云辉 王智勇 高文永

编写者 (按姓氏笔画排序)

万小春 王 庚 王 海 王久臣

王正元 王晓君 王智勇 尹建峰

刘代丽 杨世关 邹文昕 贾 涛

高文永 韩 芳 曾邦龙 雷云辉

蔡昌达

前 言

自 1884 年巴斯德开启人类开发利用沼气的历史以来，沼气技术已经走过了 130 多年的发展历程。沼气已从一项单一的技术发展成为集能源、环保、生态等多种功能于一身的产业。自 20 世纪 80 年代以来，我国沼气技术和产业取得了长足发展。目前，我国沼气产业正处在转型升级功能拓展的关键时期，而且随着生态文明建设步伐的加快，生物天然气等规模化大型沼气工程建设亦在提速。

在上述背景下，沼气及生物天然气工程单体规模在不断扩大，工程数量在不断增加，工程所需的技术支撑也日益复杂，涉及机械、生物、能源、环保、建筑、监测、控制等不同的技术领域及相关的装备与设施，因此对管理的要求也越来越高，加之沼气的易燃易爆属性，使得沼气工程安全管理的重要性更加凸显。

近年来，国内外出版了大量的沼气书籍，这些文献或多或少都会涉及沼气安全问题，但随着沼气产业规模及沼气工程规模的不断增加，这些散见于不同文献中的知识由于缺乏系统性和完整性，不便于沼气工程管理者 and 工程设计、建设及运行管理人员学习和应用。有鉴于此，中国农村能源行业协会在“亚行清洁能源融资伙伴基金赠款中国农村能源生态建设项目”的资助下组织行业专家编写了本手册。

本手册共分九章，内容涵盖沼气工程设计、建设与运行等全部环节的安全管理问题。具体内容依次为：安全管理基本原理、沼气工程基础知识、沼气工程安全管理基础知识、沼气工程安全设计、沼气工程施工安全与管理、沼气工程运行安全与管理、沼气应用安全与管理、沼气工程劳动保护与安全培训，以及沼气工程事故案例。

由于沼气工程安全管理涉及的知识和技术领域非常广泛，所以为了使本手册能够全面、系统和切合实际，并与现代技术发展相适应，在编写过程中我们参考、引用和借鉴了大量的国内外文献，尤其是对相关标准和规范的引用。

虽然我们尽力想给读者呈现一本全面介绍沼气工程安全知识和管理技能的手册，但鉴于沼气工程所涉技术领域广、技术发展更新速度快、安全管理标准规范缺等诸多现实问题，以及作者自身的能力所限，手册一定会有不完善、不准确或不全面之处，敬请读者不吝批评指正，以便我们在手册再版时加以修改、完善和补充。

期待通过我们大家共同努力，将本书打造成一本全面、科学、简明、实用的沼气安全手册，为我国沼气产业的持续、快速和健康发展尽一份绵薄之力。

编写组

2016年9月于北京

目 录

前言

第一章 沼气工程安全管理基本原理	1
1.1 沼气工程安全及安全管理概述	1
1.1.1 沼气工程安全概念的界定	1
1.1.2 沼气工程安全管理的作用和意义	1
1.2 事故致因理论与安全法则	2
1.2.1 事故的基本概念	2
1.2.2 事故致因理论	3
1.2.3 安全法则	5
第二章 沼气工程基础知识	8
2.1 沼气发酵原理与影响因素	8
2.1.1 沼气简介	8
2.1.2 沼气发酵原理	8
2.1.3 沼气发酵影响因素	11
2.2 沼气工程单元组成与功能	20
2.2.1 原料存贮与预处理单元	20
2.2.2 沼气发酵单元	22
2.2.3 沼气处理与储存单元	35
2.2.4 沼渣沼液处理单元	46
2.2.5 系统监测与控制单元	47
2.3 沼气工程安全设施	50
2.3.1 正负压保护器	50
2.3.2 阻火器	51
2.3.3 应急燃烧器	52

第三章 沼气工程安全管理基础知识	53
3.1 防火防爆基础知识	53
3.1.1 燃烧的必要条件	53
3.1.2 气体燃烧的类型	54
3.1.3 爆炸极限	54
3.1.4 防火措施	55
3.2 沼气工程火灾与爆炸危险性	56
3.2.1 沼气燃烧与爆炸特性	56
3.2.2 沼气泄漏火灾与爆炸形式	56
3.2.3 沼气工程火灾与爆炸事故因果分析	58
3.2.4 秸秆粉碎和堆放火灾与爆炸危险	60
3.3 沼气工程火灾及爆炸预防及控制措施	61
3.4 沼气主要成分及其危害	63
3.4.1 甲烷	63
3.4.2 二氧化碳	63
3.4.3 硫化氢	64
3.4.4 硅氧烷	64
3.5 沼气工程排放物对环境的影响	65
3.5.1 排放物对大气环境的影响	65
3.5.2 排放物对水体环境的影响	66
3.6 沼气工程消防安全	66
3.6.1 避雷装置	66
3.6.2 防爆区域划分	66
3.6.3 应急燃烧器	68
3.6.4 消防设置	68
3.6.5 消防通道	68
3.7 安全标志	69
3.7.1 禁止标志	69
3.7.2 警告标志	70
3.7.3 指令标志	71
3.7.4 提示标志	72

第四章 沼气工程安全设计	73
4.1 沼气工程安全设计总体要求	73
4.1.1 安全设计依据与标准	73
4.1.2 工程选址的安全性原则	75
4.1.3 设计的安全与环保评估	77
4.1.4 场区总平面设计	78
4.1.5 防火防爆及监测要求	86
4.1.6 防雷和接地设计	92
4.1.7 环境保护设计	98
4.2 沼气工程主要设备安全设计要求	101
4.2.1 厌氧消化器安全设计	101
4.2.2 沼气储气柜安全设计	111
4.2.3 沼气工程其他安全附件或附属设施设计要求	115
第五章 沼气工程施工安全与管理	118
5.1 工程施工安全管理	118
5.1.1 组织和制度保证	118
5.1.2 安全技术保证	119
5.1.3 安全投入保证	120
5.1.4 安全事故报告	120
5.2 工程施工安全管理实施	121
5.2.1 安全技术措施	121
5.2.2 安全技术交底	121
5.2.3 安全文明施工措施	122
5.2.4 安全检查	123
5.3 工程施工环境保护	124
5.3.1 基本原则和目的	124
5.3.2 环境因素的影响	124
5.3.3 环境保护措施	125
5.4 工程质量管理	126
5.4.1 土建施工	127

5.4.2 设备制作安装	128
第六章 沼气工程运行安全与管理	129
6.1 沼气工程启动管理	129
6.1.1 沼气工程正常启动程序	129
6.1.2 沼气工程启动注意事项	129
6.2 沼气工程日常运行与维护	130
6.2.1 一般规定	130
6.2.2 各单元管理	132
6.3 沼肥安全使用	140
6.3.1 发酵原料控制	140
6.3.2 发酵工艺条件控制	141
6.3.3 沼肥测试、储存与处理	141
6.3.4 合理施用	142
第七章 沼气应用安全与管理	146
7.1 沼气发电	146
7.1.1 沼气发电方式	146
7.1.2 往复式内燃沼气发电机组安全操作与维护保养	149
7.1.3 沼气电站及沼气发电并网	151
7.2 集中供气	154
7.2.1 沼气集中供气设施的安全检查	155
7.2.2 沼气管道的安全检测	158
7.3 生物天然气应用	159
第八章 沼气工程劳动保护与安全培训	163
8.1 劳动保护基本要求	163
8.1.1 沼气工程劳动防护用品配备使用	163
8.1.2 沼气工程职业安全与健康	166
8.1.3 职业病	167
8.2 安全管理技术知识培训	168
8.2.1 沼气工程安全技术措施	168

8.2.2 沼气工程管理岗前培训主要内容	168
8.2.3 工伤急救培训	170
第九章 沼气工程事故典型案例	173
案例 1 荷兰某污水处理厂沼气爆炸事故	173
案例 2 德国某沼气厂 H_2S 释放致人死伤事故	174
案例 3 意大利某废物处理罐爆炸事故	176
案例 4 上海某垃圾焚烧厂渗滤液调节池爆炸事故	179
案例 5 江苏某废水处理工程沼气爆炸事故	182
附录 沼气工程安全管理应急预案	187
参考文献	209

第一章 沼气工程安全管理基本原理

1.1 沼气工程安全及安全管理概述

1.1.1 沼气工程安全概念的界定

沼气工程安全是指在沼气项目整个生命周期内（包括工程规划、设计、施工、启动、运行和报废等），将项目对人的身心、工程自身及环境可能产生的损害控制在能接受水平以下的状态，以及实现该状态的保障条件。这是本手册对沼气工程安全概念的界定。完整理解这一概念需要把握以下四点：①保障人员的生命安全和身心健康是沼气工程安全的最核心和最高的目标；②沼气工程安全是由工程安全状态及其保障条件构成的整体；③沼气工程安全涵盖从工程立项、设计、施工、运行到工程报废整个沼气项目生命周期的安全；④沼气工程安全是由人员安全、工程自身安全和环境安全构成的有机整体。

沼气工程的安全需要3块基石做保证：①科学的规划与设计，沼气工程涉及多种技术、包含大量的设备和建（构）筑物，科学的规划和设计是保证它们分工合作、协调与安全运行的基础；②可靠的技术和装备，这是保障沼气工程安全的根本；③严格的安全管理，人是保障工程安全的决定性因素，因此严格的安全管理是保障工程安全的关键。

1.1.2 沼气工程安全管理的作用和意义

安全管理是为实现安全目标而进行的有关决策、计划、组织和控制等方面的活动。它主要运用现代安全管理原理、方法和手段，分析和研究各种不安全因素，从技术上、组织上和管理上采取有力的措施，解决和消除各种不安全因素，防止事故的发生。

安全管理作为保证沼气生产安全的关键举措，其作用和意义主要体现在以下3个方面：

1. 重视和加强沼气工程安全管理是保障沼气产业健康发展的需要 首先，安全问题曾是影响沼气推广的一个主要因素。我国户用沼气发展初期，由于安全管理不到位曾产生一些人身伤亡事故，这些事故曾在相当长的时期内影响了沼气技术的推广。其次，沼气的发展前景与安全问题息息相关。沼气作

为清洁能源，在我国能源结构调整的大背景下具有巨大的发展潜力，这种潜力能否发挥与沼气工程能否给社会公众留下安全环保的印象具有重要的关联。

2. 重视和加强沼气工程安全管理是推进我国沼气工程转型升级的需要 经过多年的建设与发展，我国沼气技术已发展形成了相对成熟的产业体系。但是，多年来我国沼气产业发展的重点在户用沼气，安全问题相对单一。目前，国家正在推进沼气工程转型升级，支持重点已由户用沼气转到规模化大型沼气工程与生物天然气工程。这势必会推动沼气产业进入发展的快车道。在安全方面大型沼气工程与户用沼气有显著的差别，这是因为大型沼气工程系统组成远比户用沼气复杂，需要实施科学而严格的管理才能保证其安全运行。

3. 做好沼气工程安全管理是保证和提高沼气工程自身经济和环境效益的需要 沼气工程属于能环工程，在化石能源价格长期处于低位徘徊条件下，保证工程经济效益的难度加大。在这样的背景下，通过加强安全管理，减少或杜绝事故以降低工程运行成本，对提高沼气工程的经济效益和环境效益均具有重要的现实意义。

1.2 事故致因理论与安全法则

1.2.1 事故的基本概念

事故是指在生产活动过程中发生的意外的、可导致人员伤亡、设备损坏、财产损失以及环境危害的事件。事故具有以下典型特征：

1. **普遍性** 由于生产活动中普遍存在可能导致人员伤亡和财产损失的危险，所以，发生事故的可能性就普遍存在。这就要求在生产过程中必须坚持“安全第一，预防为主”的方针。

2. **因果性** 事故都有其发生的原因，事故原因大致可分为人的不安全行为和物的不安全状态两类。这些原因相互作用、相互影响，在一定条件下就可引发事故。为了预防和控制事故，就需要辨识可能引发事故的原因，并采取相应的安全措施。

3. **潜伏性** 生产活动中，导致事故发生的隐患是潜在的，条件成熟时，在特定的时间和场所就会显现为事故。生产系统在很长时间内没有发生事故并不代表它是安全的，更不能让这种表面的安全状态麻痹人们的思想。

4. **可预测性** 通过对已有事故的分析和依靠专业知识，在生产活动开始之前，可以对可能出现的危险作出预测，并采取相应的防治措施。

1.2.2 事故致因理论

事故多表现为突然发生的意外事件，其发生具有随机性，而导致事故发生的原因具有复杂性。事故发生的随机性和复杂性，使得弄清事故发生的规律并采取针对性预防措施变得十分困难。尽管如此，在长期的生产和实践过程中，人们还是掌握和认识了导致事故发生的具有普遍意义的规律，形成了一些描述事故成因、经过和后果的理论，这就是事故致因理论。

掌握这些理论，对认识事故本质、指导事故调查和预防事故的发生均具有重要的意义。具有代表性的事故致因理论有 10 多种，结合沼气工程的特点，本手册重点介绍以下 3 种理论：因果连锁理论、能量意外转移理论和轨迹交叉理论。

1. 因果连锁理论 因果连锁理论最早由美国工业安全专家赫伯特·威廉·海因里希（Herbert William Heinrich）于 20 世纪 30 年代提出。在海因里希理论的基础上，亚当斯又提出了自己的因果连锁理论，该理论以表格的形式简明扼要地描述了事故因果链上的 5 个要素，见表 1-1。

表 1-1 亚当斯因果连锁理论模型

管理体系	管理失误		现场失误	事故	伤害或损坏
目标组织 机能	领导者在下述方面决策失误或未做决策：	安全技术人员在下述方面管理失误或疏忽：	人的不安全行为 物的不安全状态	伤亡事故 损坏事故 无伤害事故	对人 对物
	◇ 方针政策 ◇ 目标 ◇ 规范 ◇ 责任 ◇ 职级 ◇ 考核 ◇ 权限授予	◇ 行为 ◇ 责任 ◇ 权限范围 ◇ 规则 ◇ 指导 ◇ 主动性 ◇ 积极性 ◇ 业务活动			

根据该理论，导致事故的直接原因是现场失误，即人的不安全行为和物的不安全状态。其核心在于对导致现场失误的原因所作的深刻分析，提出了企业领导者和安全技术人员管理的失误是导致现场操作人员出现不安全行为和生产作业设备处于不安全状态的根本原因，而管理失误又由企业管理体系存在的问

题所导致。

该理论的指导意义在于：许多事故的发生，常常与企业的安全管理不到位直接相关。安全管理松懈的企业，往往容易发生严重事故，而安全管理严格的企业，则很少发生严重违章事故。

2. 能量意外转移理论 能量是满足人类生产和生活的基础。在受控条件下，能量被用于制造产品或提供服务。而一旦失去控制，发生异常或意外释放，就会导致事故的发生。不受控制的能量作用于人就会造成人员伤亡，作用于物则会造成财产损失。

导致事故的能量包括机械能、热能、化学能、电能、辐射能、生物能等各种形式。其中一种或若干种能量的异常或意外释放都可能导致事故的发生。根据能量意外转移理论，形成事故链的要素有 3 个：失控的能量、能量转移途径和受害对象。所以，为预防事故的发生或减少事故危害，需要采取以下措施。

(1) 控制能量的措施。包括控制可能产生损害的能量规模，用较安全的能源代替危险性大的能源，以及防止能量散逸等。对于沼气工程而言，在满足需求的情况下沼气储气柜应设计得尽量小，具有爆炸危险的场所应采用防爆设备等。

(2) 控制能量转移途径的措施。包括在能量转移途径上设置隔离和屏障，开放能量释放途径，延缓或减弱能量的释放等。比如，为沼气输配管道安装防回火装置、厌氧消化器配置防真空装置、为储气柜设计避雷针等。

(3) 保护受害对象的措施。包括提高可能受能量转移危害者的自我保护能力，事故发生后及时切断可能造成损害的能量，为必须在有能量转移危害的环境中作业的人员配备防护用品等。比如，为进沼气池维修人员配备防毒面罩。

能量意外转移理论指出了导致事故的本质，没有能量的意外转移就不会发生伤亡或财产损失的结果。

3. 轨迹交叉理论 轨迹交叉理论认为：当人的不安全行为和物的不安全状态按照各自的运行轨迹发展过程中，如果在一定时间和空间内两条轨迹发生交叉，使得能量作用于人或物，事故就会发生。该理论反映了绝大多数事故发生的规律，强调了人的因素和物的因素在事故致因中占有同等重要的地位，指出了人的不安全行为和物的不安全状态相互作用的结果是导致事故发生的关键因素。

根据轨迹交叉理论，预防事故的发生需要从控制人的不安全行为和物的不安全状态两个方面同时着手。

(1) 控制人的不安全行为的措施。可以采取的措施主要有：选择适应职业要求的合格职工，避免因生理、心理素质欠缺而发生工作失误；为员工创造良

好的工作环境；加强教育和培训，提高员工的安全素质；再者就是健全管理体制，严格管理制度。

(2) 控制物的不安全状态。具体到沼气生产，需要从工程设计、建造施工、运行维修等方面消除不安全因素，从而使工程处于安全状态。

1.2.3 安全法则

安全法则是指在安全管理工作中，体现出来的规律化的方法和原则。由于安全管理工作涉及因素多，所以在长期的管理实践中，人们提出了许多安全法则，这里主要介绍对安全生产与管理具有重要指导作用的几个法则：墨菲法则、海因法则、破窗法则、木桶法则。

1. 墨菲法则 墨菲法则 (Murphy's Law) 的含义是指：事情如果有变坏的可能，不管这种可能有多小，它总会发生。另一简单的表述是“有可能出错的事情，就会出错”。墨菲法则又称墨菲定律，由美国人爱德华·墨菲 (Edward A. Murphy) 提出，见图 1-1。

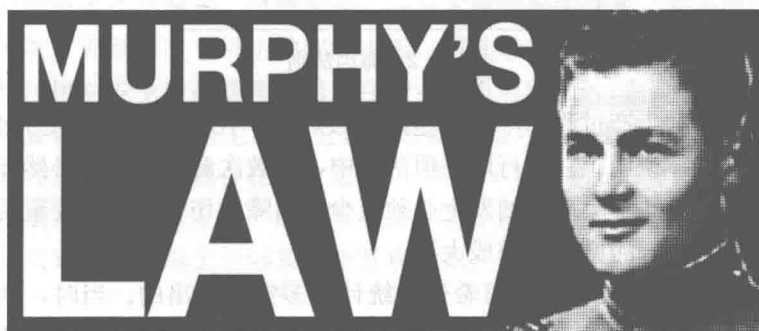


图 1-1 爱德华·墨菲

1949 年，爱德华兹空军基地上尉工程师墨菲参加美国空军进行的火箭减速超重实验。其中有一个实验项目是将 16 个火箭加速度计悬空装置在受试者上方，当时有两种方法可以将加速度计固定在支架上，而不可思议的是，竟然有人有条不紊地将 16 个加速度计全部装在错误的位置。墨菲据此提出了墨菲定律这一著名的论断。

事故是一种不经常发生和不希望发生的意外事件，这些意外事件发生的概率一般比较小，所以被称为小概率事件。由于这些小概率事件在大多数情况下不发生，所以，往往被人们忽视，产生侥幸心理和麻痹大意思想，这恰恰是事故发生的主观原因。墨菲定律揭示了在安全管理中人们为什么不能忽视小概率事件的科学道理；揭示了安全管理必须发挥警示职能，坚持预防为主原则的重

要意义。

墨菲定律告诫人们，安全意识时刻不能放松！所以，该定律被认为是安全管理过程中的长鸣警钟。

2. 海因法则 海因法则（Heinrich's Law），又名海因里希法则，是由海因里希提出的 300 : 29 : 1 法则，其含义是：每一起严重事故的背后，有 29 次轻微事故和 300 次未产生人员伤亡的事故，参见图 1-2。

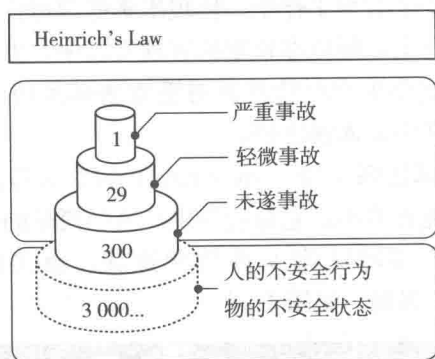


图 1-2 海因法则

对于不同的生产过程，不同类型的事故，这一比例关系不一定完全相同，但这个统计规律说明了在进行同一项活动中，无数次意外事件，必然导致重大伤亡事故。要防止重大事故的发生必须减少和消除无伤害事故，要重视事故的苗头和未遂事故，否则终会酿成大祸。

这个法则是 1931 年海因里希通过统计许多灾害得出的。当时，他统计了 55 万件机械事故，其中死亡、重伤事故 1 666 件，轻伤 48 334 件，其余则为无伤害事故。他由此得出一个重要结论，即在机械事故中，死亡、重伤、轻伤和无伤害事故的比例为 1 : 29 : 300。

该法则强调两点：一是事故的发生是量的积累导致的结果；二是再好的技术和再完美的规章，在实际操作层面也无法取代人自身的素质和责任心。海因法则警示人们，当一件重大事故发生后，在处理事故本身的同时，还要及时对同类问题的“事故征兆”和“事故苗头”进行排查处理，要防患于未然。它同时说明事故都是有征兆的，企业管理者要善于发现事故征兆和控制事故苗头。

3. 破窗法则 破窗法则又称破窗理论、破窗效应，其含义是指一幢楼有少许窗户被打破，如果破窗不被及时修理好，将会导致更多的窗户被破坏。该法则说明环境可以对人产生强烈的暗示性和诱导性。

破窗效应的提出源于美国斯坦福大学心理学家菲利普·津巴多（Philip