



总装部队军事训练“十二五”统编教材

航天发射污染控制

HANGTIAN FASHE WURAN KONGZHI

张统 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

013024709

X738
02

总装部队军事训练“十二五”统编教材

航天发射污染控制

张统 主编



国防工业出版社



北航

C1632320

X738
02

013054708

图书在版编目(CIP)数据

航天发射污染控制 / 张统主编. —北京: 国防工业出版社, 2013. 2

总装部队军事训练“十二五”统编教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 08638 - 6

I. ①航... II. ①张... III. ①航天器发射 - 污染控制 - 教材 IV. ①X76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 011361 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 7 $\frac{7}{8}$ 字数 212 千字

2013 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

总装备部军事训练统编教材 编审委员会

(2011)

主任委员	于建平		
副主任委员	陈志敏	蔡洙虎	
委 员	王家伍	张海洋	唐仕镒
	栗根文	姚志军	杨开忠
	白凤凯	孙炳文	吴正容
	姜世忠	孙 冲	
秘 书	石根柱	余敬春	

航天发射污染控制

主 编 张 统

副 主 编 方小军 侯瑞琴 李 洁

编写人员 马 文 刘士锐 王守中

李志颖 王开颜 陈 钰

辛 文 董春宏

主 审 穆 山 吴之丽

前 言

我国正在实现由航天大国向航天强国的跨越,特别是“神舟九号”与“天宫一号”的成功对接,更标志我国在航天技术领域取得了新的突破和重大进展。

航天发射过程中,每次要消耗数百吨的燃料,燃料以肼类和四氧化二氮推进剂为主,会产生推进剂废水、废气、废液、发射噪声等环境污染,各种污染源均对环境造成较大危害,需要采取针对性的处理措施。由于航天发射的特殊性,其产生的污染物与一般企业差别较大,开展的相关研究也较少,缺少针对性的治理技术。为此本书的作者开展了长期的研究工作,在环境监测、环境影响评价、环境污染防治、生态保护、突发环境事故应急等方面取得了很多创新成果,在实际应用中产生了良好的军事效益和环境效益,为实现航天发射活动的可持续发展,保障环境安全发挥了重要作用。

本书的重点:一是航天发射过程产生的环境污染(如推进剂废水、废气、废液及噪声)治理技术;二是在航天发射活动中产生的生活污水处理及回用技术;三是应对推进剂泄漏等突发事件的应急处理技术及装备;四是环境监测及环境信息管理技术;五是航天发射活动的污染控制建设示例。

本书是国内第一本全面、系统介绍航天发射污染控制技术与应用的专著,既有理论研究和工程技术,又有设计方法和实践经验,可以指导已有发射场的环境污染防治和新建发射场的规划建设,同时对提高航天领

域环境保护从业人员技术水平也具有重大的指导作用。

本书由总装备部军事训练统编教材编审委员会统一组织编写,总装备部工程设计研究总院具体承担,张统研究员负责总体技术和策划,方小军工程师负责统稿,穆山高工、吴之丽教授负责主审。张统、方小军、侯瑞琴、李洁、马文、刘士锐、王守中、李志颖、王开颜、陈钰、辛文、董春宏等参加编写和校对审核。

书中不妥之处,敬请批评指正!

编者

2012年3月

内 容 简 介

本书分析了航天发射过程中各种污染的来源及特点、污染控制总体技术现状和发展趋势,详细介绍了推进剂废水、废气、废液,发射噪声,生活污水等污染源的处置技术,总结了实际的应用情况,并阐述了推进剂泄漏等突发事件应急处置技术与装备、环境信息管理系统等。本书结合航天发射活动,还介绍了各种污染治理技术的具体应用。

本书系统性强、实用价值大,可供从事航天发射环境保护的技术人员使用,也可作为高等院校相关专业的教学参考书。



北航

C1632320

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 航天发射概况	1
1.2 航天发射主要污染	1
1.3 航天发射污染控制现状与发展趋势	2
1.3.1 污染控制现状	2
1.3.2 航天发射环境保护发展趋势	4
第 2 章 推进剂废水污染与控制	7
2.1 推进剂废水污染概述	7
2.1.1 推进剂废水来源	7
2.1.2 推进剂废水的特点	8
2.1.3 推进剂废水的危害	9
2.2 推进剂废水排放标准及水质检测	10
2.2.1 推进剂废水的排放标准	10
2.2.2 推进剂废水水质检测	11
2.3 推进剂废水处理方法	13
2.3.1 国内外推进剂废水处理方法概况	13
2.3.2 推进剂废水自然净化法处理	14
2.3.3 推进剂废水的氯化法处理	19
2.3.4 推进剂废水臭氧氧化处理	21
2.3.5 推进剂废水等离子氧化处理	25
2.3.6 推进剂废水处理方法选择	27
2.4 推进剂废水处理工程实例	28
2.4.1 工程概况	28

2.4.2	处理设备设计与选择	29
2.4.3	设备调试与应用情况	33
第3章	推进剂废气、废液污染与控制	34
3.1	液体推进剂废气、废液来源	34
3.1.1	推进剂废气来源	34
3.1.2	推进剂废液来源	35
3.2	液体推进剂废气、废液污染及危害	37
3.2.1	氧化剂废气、废液污染及危害	37
3.2.2	燃烧剂废气、废液污染及危害	38
3.3	液体推进剂废气、废液处理技术现状	38
3.3.1	肼类燃烧剂废气污染治理现状	38
3.3.2	氧化剂废气污染治理现状	40
3.3.3	推进剂废液污染治理	44
3.4	燃烧法处理推进剂废气、废液工艺	45
3.4.1	试验装置及处理流程	45
3.4.2	废液处理试验内容及试验过程	47
3.4.3	试验结果	52
3.5	液体推进剂废气、废液处理工程实例	54
3.5.1	酸性尿素水溶液吸收法处理氮氧化物废气 工程实例	54
3.5.2	燃烧法处理推进剂废气、废液工程实例	56
3.5.3	燃烧处理系统安全性可靠性	66
第4章	航天发射噪声污染与防护	74
4.1	航天发射噪声的产生	74
4.1.1	噪声源的产生机理	74
4.1.2	发射噪声的特性与预测	76
4.1.3	发射噪声的危害	82
4.2	航天发射噪声控制	83
4.2.1	降噪方法	84
4.2.2	降噪措施	85

4.2.3 航天发射噪声控制实例	88
4.3 其他噪声污染	92
4.3.1 噪声产生	92
4.3.2 降噪方法	93
4.3.3 降噪措施	93
第5章 生活污水治理	95
5.1 生活污水来源和规模	95
5.2 生活污水处理特点及工艺	95
5.2.1 生活污水水质特点	95
5.2.2 生活污水处理工艺选择	96
5.2.3 污水处理常用工艺	101
5.3 生活污水处理及生态回用工程实例	112
5.3.1 项目概况	112
5.3.2 设计思想及总体规划	113
5.3.3 主要设计指标	113
5.3.4 工艺选择及设计	114
5.3.5 工程综合效益分析	119
5.3.6 工程总结	120
第6章 液体推进剂泄漏突发事件应急处置	122
6.1 液体推进剂突发事件分类及危害	123
6.1.1 突发事件分类	123
6.1.2 突发事件危害	124
6.1.3 突发事件作业过程	126
6.2 液体推进剂突发事件预测计算模型	127
6.2.1 液体推进剂泄漏量计算模型	127
6.2.2 液体推进剂泄漏蒸发计算模型	131
6.2.3 液体推进剂泄漏气体扩散计算模型	132
6.2.4 小结	136
6.3 液体推进剂突发事件危险评估	136
6.3.1 航天发射常规液体推进剂作业的系统分析	137

6.3.2	液体推进剂作业危险性评价模型	140
6.3.3	液体推进剂作业的系统危险性评价	144
6.3.4	结果分析及讨论	147
6.4	液体推进剂突发事件应急预警	149
6.4.1	我国航天发射突发事件应急预警现状	150
6.4.2	快速预警系统总体技术	150
6.4.3	快速预警系统的硬件设施研究	151
6.4.4	小结	152
6.5	液体推进剂 N_2O_4 泄漏应急处置技术	152
6.5.1	粉剂的筛选和制备	152
6.5.2	定量试验	155
6.5.3	定量试验结果	157
6.5.4	定量试验分析	162
6.5.5	现场应用试验	165
6.5.6	硝基氧化物大量泄漏的综合处理方法	169
6.5.7	小结	171
第7章	环境信息管理技术	172
7.1	概述	172
7.1.1	环境信息及管理	172
7.1.2	环境信息系统的建立及其功能	175
7.1.3	环境信息管理系统特征	177
7.1.4	环境信息管理系统结构与组成	178
7.2	环境信息的采集、处理与应用	180
7.2.1	环境信息采集与处理	180
7.2.2	环境信息评估模型与应用	187
7.2.3	安全与预警系统	202
7.2.4	环境信息的交互	202
7.3	环境信息管理系统建设实例	203
7.3.1	系统概况	203
7.3.2	重要环境指标的选择	204

7.3.3 环境信息系统平台构建	206
第8章 航天发射污染防治技术综合应用	209
8.1 概述	209
8.1.1 项目环境保护要求	209
8.1.2 污染源及源强	210
8.2 污染防治总体技术方案	211
8.2.1 污染防治原则	211
8.2.2 污染防治总体规划	212
8.2.3 生态环境综合控制中心	212
8.3 推进剂废水处理	213
8.3.1 推进剂废水处理总体技术方案	213
8.3.2 含胍类和硝基氧化物废水处理方案	213
8.3.3 含烃废水处理方案	216
8.4 推进剂废液处理	218
8.4.1 工艺选择	218
8.4.2 推进剂废液处理技术方案	219
8.5 环境监测系统设计	221
8.5.1 系统组成	221
8.5.2 主要设施	221
8.6 应急处置技术方案	223
8.6.1 风险源分析	223
8.6.2 应急环境风险分析	225
8.6.3 应急环境监测	226
参考文献	229

第 1 章 概 论

1.1 航天发射概况

人类探索太空已有近 50 年的历史,通过观测、探测、研究和了解认识外层空间,可以更深入地认识地球和人类自己,与此同时还可以在空间寻找、发现新的资源,为开发利用空间资源做准备。通过空间技术的发展,获得气象、通信、导航等信息,为人类社会的发展和进步起到了巨大作用。发展空间技术,探索太空,还可以为人类扩大生存空间做技术准备。世界各国已发射了数千个航天器到太空中,实现各自不同的目的。

我国航天器的发射均采用长征系列火箭运载,目前在用的火箭型号均采用液体推进模式,其发动机的推进剂大多采用常规液体推进剂,燃烧剂为偏二甲肼,氧化剂为四氧化二氮。随着对环境保护工作的不断加强,在未来的航天发射活动中,将会采用新型氢氧发动机和液氧/煤油发动机。氢氧发动机采用液氢、液氧作为燃料,液氧/煤油发动机采用液氧、煤油作为燃料。偏二甲肼(UDMH)、四氧化二氮(N_2O_4)均为有毒性的燃料,环境污染较大,液氧、液氢、煤油推进剂效能更高,环境污染小。

1.2 航天发射主要污染

1. 推进剂废水污染

推进剂废水主要来自火箭发射,推进剂槽车、储罐、管道清洗,推进剂库房地面清洗,推进剂泄露应急处置等过程。推进剂废水污染详细来源

情况见第 2 章有关内容。

2. 推进剂废气、废液污染

推进剂废气主要来源于推进剂加注时管道吹洗、库房储罐放空和突发性泄漏液体的挥发过程。推进剂废液主要来源于槽车、储罐、管道排空,氧化剂或燃烧剂久置变质,推进剂泄漏,外星发射残留,分析化验等过程。推进剂废气、废液污染详细来源情况见第 3 章有关内容。

3. 其他污染

航天发射除推进剂产生的污染外,还存在其他一些污染源。

航天发射活动除需要火箭、塔架、推进剂加注系统等设施外,还有很多配套设备和人员生活设施,会产生噪声、废气、垃圾、污水等各种生活污染物,其中影响最大的是生活污水。航天发射活动均远离城市,没有市政设施可以依托,其生活污水的量较大,每天排放生活污水量均在数千吨以上,是航天发射活动的主要污染源。

1.3 航天发射污染控制现状与发展趋势

1.3.1 污染控制现状

1. 推进剂污染控制现状

航天发射的推进剂污染主要有废气、废液和废水。

(1) 废气包括偏二甲肼废气和四氧化二氮废气。对平时库房挥发等产生的少量推进剂废气污染,由于不便于收集处理,通常采用直接排放或高烟囱排放。在加注过程中产生的大量偏二甲肼废气、二氧化氮废气,分别储存在废气储存罐中。对储存罐中的推进剂废气均有专门处理设施,采用燃烧法处理,通过高温燃烧,使有毒有害的推进剂废气转化为 CO_2 、 N_2 、 H_2O 等无害物质。对发射过程中产生的废气,因技术原因,难以收集,除少量被消防喷淋水吸收外,大部分直接排放到大气中,无法进行处理。对发射废气目前已开展相应的监测、评估和防护研究,研究确定发射废气的污染范围、持续时间等关键数据,从而可以帮助有关部门制定科学的防护范围、发射后可进入作业时间等,保证工作人员的身体健康。

(2) 废液包括偏二甲肼废液和四氧化二氮废液。废液由于产生的量少,且容易挥发,不便保存,通常会转化为废气或废水状态。由于偏二甲肼废液进入水中,致使废水中偏二甲肼浓度很高,处理困难且运行费用高。因此目前发射活动中逐渐对废液进行收集处理。

偏二甲肼废液的处理方式有两种,一种为直接点火燃烧,该方式虽简便易行,但由于难以保证充分燃烧的条件,会产生废气污染;另一种为采用专用燃烧设备处理,通过辅助燃料使燃烧炉达到 800℃ 以上高温,再把废液雾化后喷入燃烧炉,该方式燃烧充分,处理后尾气可达到排放要求,但需收集较多废液后统一处理,否则运行费用太高。

四氧化二氮废液的处理方式也有两种,一种是先将废液溶解到水中形成酸性溶液,再用石灰水等碱性溶液进行中和处理,该方式简便易行,但难以保证处理效果,处理后可能会形成亚硝酸盐污染,不能实现达标排放;另一种方式为采用燃烧设备处理,其处理原理和要求与二氧化氮废气燃烧处理相同。

突发事故应急收集的废液和检验不合格的推进剂,量较大且有回收利用价值时,由厂家回收处理,否则集中后采用燃烧法处理。

(3) 废水可分为偏二甲肼废水、四氧化二氮废水和燃烧混合废水三大类,但各种废水通常均汇集在一起储存或排放。有关部门对推进剂废水的处理较为重视,多年前便开展了相应的研究,并建设了工程处理设施,可称为第一代的废水处理,但处理技术各不相同。其一采用氯化法,利用氯制剂的氧化性能,氧化分解废水中的污染物;其二采用自然氧化法,在 Cu^{2+} 做催化剂的条件下,利用太阳光和空气中的氧,氧化分解废水中的污染物;其三采用紫外线臭氧氧化法,在紫外线照射下,利用臭氧氧化分解废水中的污染物。这些方法对废水的处理均有一定的效果,取得了大量试验数据和应用经验,但也存在效率不高、处理不彻底、操作管理复杂等问题。由于技术、管理和设备寿命等问题,目前这些方法的处理设施均未继续使用。近年来,随着高级氧化技术的不断发展,低温等离子氧化技术不断成熟,通过试验研究,处理推进剂废水取得了良好的效果,采用低温等离子氧化技术建成的处理设施已在航天发射废水处理中得以应用,有效地解决了推进剂废水污染问题。

2. 其他污染控制现状

航天发射的噪声污染主要在火箭发射的瞬间,虽然噪声很大但其持续时间较短,且发射工位均远离居住区,受影响的区域和人员主要是周边参加发射活动的工作人员,因此噪声控制措施较少,主要在周边建筑设计时略考虑隔声问题。在未来的航天火箭发射活动中,应开始重视噪声的问题,采取降低噪声的措施。

生活污水虽然不含有毒物质,但污染量较大,且长期持续存在,实为航天发射活动中对环境影响最大的污染源。航天发射活动均远离城市,没有市政处理设施可以依托,长期以来,生活污水直接排放在附近水系或渗流到周边地域,对地下水质和水体均造成了较大污染。随着航天发射活动的不断发展,生活污水的污染也更加严重,周边环境不断恶化,开始影响工作人员和周边居民的正常生活。近几年来,结合自身特点,先后建设了生活污水处理设施,对生活污水进行处理后排放或回用,既解决了生活污水的污染问题,又利用了处理后的污水作为资源,回用于绿化和景观等用途,节省了大量水资源。

1.3.2 航天发射环境保护发展趋势

1. 航天发射环保要求

我国目前航天发射使用的火箭推进剂主要为偏二甲肼和四氧化二氮,这类推进剂储存方便,可即时加注,也可即时停止,使用方便,但其本身有一定的毒性和腐蚀性,在使用、发射过程中会产生废水、废气和废液,若不进行无害化处理会对人的健康造成危害,对环境造成污染,同时航天发射活动中配套有大量的生产和生活设施,大量的工作人员和车辆,也会产生一定量的生活污水、生活垃圾、工业固废、噪声、有害气体等。航天发射活动中对环境保护十分重视,《环境保护条例》和《环境影响评价条例》均要求加强环境保护,加强生态环境建设,加强节能减排工作,要对现有污染源进行达标处理,对新建设项目一律落实“三同时”政策,即污染治理设施与主体工程“同时设计、同时建设、同时投入运行”。项目首先应进行环境影响评价,对建设期和运行期可能产生的环境污染进行科学预测,制定针对性的防治措施,使污染负荷降到最低。可以采取的环保措施