

YIRAN YIBAO YOU DU WEIXIANPIN
CHUYUN GUOCHENG DINGLIANG
FENGXIAN PINGJIA

宇德明 著

中国铁道出版社

易燃、易爆、有毒危险品

储运过程定量风险评价

铁路科技图书出版基金资助出版

X951
Y-254

易燃、易爆、有毒危险品 储运过程定量风险评价

宇 德 明 著

中国铁道出版社

2000 年 北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

定量风险评价又称概率安全评价,或概率危险评价。自 1967 年 Farmer 最先提出概率安全评价思想,1974 年,美国的 Rasmussen 教授领导的研究小组发表“商用核电站轻水反应堆的风险评价”报告以后,经过各国政府、科学工作者和企业的共同努力,定量安全评价的理论研究和试验研究发展很快,定量安全评价方法已经成熟。目前,它已经在核电和宇航等行业的安全评价中得到广泛的应用,并正在石油、化工、交通运输等行业推广使用。

本书在收集了国内外大量有关的文献资料基础上,加上作者几年来的研究成果,经过系统整理编撰而成。全书共分九章,主要介绍易燃、易爆、有毒危险品储运过程定量风险评价中需要经常用到的各种事故后果模型。具体内容安排如下:第 1 章和第 2 章介绍易燃、易爆、有毒危险品的类型、特性及燃烧与爆炸的有关知识,综述定量风险评价的历史与现状。第 3 章和第 4 章分别叙述流体泄漏模型和气体扩散模型。第 5 章讨论室外池火灾和室内火灾的伤害模型。第 6 章讨论凝聚相爆炸、无约束蒸气云爆炸和沸腾液体扩展蒸气爆炸事故伤害模型。第 7 章讨论毒气泄漏事故伤害模型。第 8 章讨论故障树分析技术。第 9 章介绍易燃、易爆、有毒危险品储运过程定量风险评价的具体步骤和应用举例。

本书可供交通运输、石油、化工、天然气、煤炭、军工、劳动管理、公安、消防、环境保护、研究所等部门从事劳动安全技术研究、劳动安全管理的工程技术人员和管理干部学习参考,也可作为安全工程、交通运输、环境工程、消防工程、火炸药、管理工程等专业的大学教师、大学生和研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

易燃、易爆、有毒危险品储运过程定量风险评价/宇德明编著. —北京:
中国铁道出版社, 2000

ISBN 7-113-03638-4

I. 易… II. 宇… III. 危险货物运输-风险分析: 定量分析 IV. X951

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 77052 号

书 名: 易燃、易爆、有毒危险品储运过程定量风险评价
作 者: 宇德明
出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)
责任编辑: 方 军
封面设计: 马 利
印 刷: 北京市彩桥印刷厂
开 本: 787×1092 1/16 印张: 17 字数: 421 千
版 本: 2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷
印 数: 1~2000 册
书 号: ISBN 7-113-03638-4/U·997
定 价: 27.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前言

风险评价又称安全评价，或危险评价。它是指以实现系统的安全为目的，按照科学的程序和方法，对系统中的危险因素和可能发生的事故类型进行系统辨识，对各种事件发生的概率进行估计，对事故造成的人员伤亡和财产损失进行分析和计算，据此判断系统的整体安全性能否接受。如果不能接受，则提出能有效降低危险性的预防措施。

危险评价发端于 20 世纪 30 年代的保险业。企业危险评价则从化工行业开始，始于 20 世纪 60 年代。1964 年，美国 DOW 化学公司最先推出适用于化工企业的火灾爆炸危险性评价方法，即著名的 DOW 指数法。DOW 指数法的基本思想是，以物质系数为基础，再考虑工艺过程中的其它因素，如操作方式、工艺条件、设备等的影响，来计算每个单元的危险度数值，然后按数值大小划分危险度级别。1974 年，英国帝国化学公司(ICI)蒙德(MOND)分部在 DOW 指数法的基础上，扩充了毒性指标，并对所采取的安全措施引进了补偿系数的概念，从而把指数法向前推进了一大步。1994 年，DOW 化学公司在几经修订的基础上，推出了 DOW 指数法第 7 版。

核电站建成以后，人们对它的安全性十分关心。为了准确评价核电站的安全性，20 世纪 60 年代末、70 年代初，人们开发了概率安全评价方法，即定量风险评价方法。1967 年，Farmer 最先提出概率安全评价思想。1974 年，美国的 Rasmussen 教授领导的研究小组发表了“商用核电站轻水反应堆的风险评价”报告，即著名的 WASH-1400 报告。它第一次成功地运用事件树分析(ETA)和故障树分析(FTA)方法，对核电站风险进行了定量分析和计算，并和已经存在的社会风险进行了比较。这在安全分析史上是一个重要的里程碑，在世界各国产生了广泛而深入的影响。在过去的 20 多年里，概率风险评价方法在核电和宇航等行业得到了较快的推广。

20 世纪 70 年代以来，随着技术的进步，石化和运输等行业一次性处理易燃、易爆、有毒危险品的数量越来越大，重大火灾、爆炸、毒气泄漏事故的发生频率增加，后果更加严重。但这些行业的生产条件比核电和宇航行业的生产条件复杂得多。为了积累在这些行业进行概率风险评价的经验，英、荷、美、德等国进行了大量的研究工作。1974 年 6 月 Flixborough 爆炸事故发生后，英国卫生与安全委员会(HSC)设立了重大危险咨询委员会(ACMH)，负责研究重大危险源辨识、评价技术，提出重大危险源的控制措施。1976 年，应英国环境与就业大臣的要求，英国卫生与安全委员会对 Canvey 岛的工业设施危险性进行了评价。该项研究的目的是了解现有工业设施及建成炼油厂后对岛上居民造成的危险性。1979 年，应荷兰居民安全委员会的要求，英国的 Cremer & Wamer 公司和德国的 Battele 公司对 Rijnmond 地区的六个工业设施进行了风险评价。此项研究的一个重要目的是探索对石油、化工设施进行风险分析的可行性，为实际应用积累经验。特别是最近十几年，国外对石化、交通运输行业定量安全评价的可行性、程序和需注意的问题进行了充分研究，开发了相应的定量风险评价软件，文献量迅速增加。专家们预言，在石油、化工和交通运输等行业开展定量风险评价是今后的一个必然趋势。

我国的危险评价工作起步于 20 世纪 80 年代初期。1988 年,机械电子部制订了“机械工厂安全性评价标准”。1992 年,化工部劳保所制订了化工厂危险程度分级方法。目前,石油、化工、军工、航空等行业都制订了各自的安全评价标准。需要特别指出的是,为了加强对我国重大危险源的管理和控制,有效控制重大工业事故的发生,1992 年国家科委将“重大危险源的评价与宏观控制技术研究”列为国家“八五”科技攻关计划的内容。通过研究,提出了易燃、易爆和有毒重大危险源危险性评价方法。按照这个方法,为了评价火灾、爆炸、有毒重大危险源的现实危险性,或者为了划分火灾、爆炸、有毒重大危险源的危险级别,都必须计算火灾、爆炸、毒物泄漏事故的严重度。而且,事故严重度的计算要求从物理规律出发,采取完全定量的方法,而不能采用打分的简单方法。这是本评价方法的一个重要特色,也是它的一个主要优点,DOW 指数法则没有这个优点。不过,从整体上看,它只是一个半定量的方法,因为评价指数中的许多部分都是用打分的方法计算出来的。

1998 年 2 月 5 日,劳动部颁发了“建设项目(工程)劳动安全卫生预评价单位资格认可与管理规则”和“建设项目(工程)劳动安全卫生预评价管理办法”两部法规。根据这两部法规,今后所有国家大中型建设项目,在工程可行性研究阶段,都必须进行建设项目劳动安全卫生预评价。但目前有关安全评价,尤其是定量安全评价的中文资料在国内十分缺乏。作者在北京理工大学攻读博士学位期间(1994 年 3 月至 1997 年 7 月),在参加国家八五科技攻关课题“易燃、易爆、有毒重大危险源的评价技术研究”过程中,收集了大量的相关资料。取得博士学位后,作者继续以相当大的时间和精力从事易燃、易爆、有毒危险品泄漏定量风险评价方面的研究。对过去收集的这些国外资料进行系统的分析和整理,就形成了本书的大部分内容。本书的另一部分内容则来源于作者已公开发表的有关论文。

本书第 1 章和第 2 章介绍易燃、易爆、有毒危险品的类型、特性及燃烧与爆炸的有关知识,综述定量风险评价的历史与现状。第 3 章和第 4 章分别叙述流体漏模型和气体扩散模型。第 5 章讨论室外池火灾和室内火灾伤害模型。第 6 章讨论凝聚相爆炸、无约束蒸气云爆炸和沸腾液体扩展蒸气爆炸事故伤害模型,第 7 章讨论毒气泄漏事故伤害模型。第 8 章讨论故障树分析技术。第 9 章讨论易燃、易爆、有毒危险品储运过程定量风险评价的具体过程,并且举例加以说明。它是全书的综合,本书前面的内容都是为它服务的。附录部分介绍两起典型的重大火灾、爆炸事故案例。

在本书的形成和出版过程中,得到许多单位和个人的帮助。特别是华北工学院的张景林教授,他是作者涉入安全工程与安全评价的启蒙老师,也是作者的硕士生导师;北京理工大学的冯长根教授及中国劳动科学研究院的程映雪研究员是作者的博士生导师,他们曾给予作者许多指导、关心和帮助,在此表示衷心的感谢。同时,本书的出版得到了铁路科技图书出版基金委员会、中国铁道出版社和长沙铁道学院的大力支持。作者对上述个人和单位表示衷心感谢。本书参考了大量的文献资料,作者对这些文献的作者表示感谢。

作者水平有限,书中如有错误和不妥之处,欢迎读者指正。

宇 德 明
1999 年 10 月

目 录

1 绪 论.....	1
1.1 易燃、易爆、有毒危险品的分类和特性.....	1
1.2 易燃、易爆、有毒危险品的储存和运输.....	8
1.3 易燃、易爆、有毒危险品储运过程事故类型.....	13
1.4 定量风险评价的历史和现状.....	18
2 燃烧与爆炸.....	21
2.1 燃烧及其分类.....	21
2.2 燃烧条件与燃烧机理.....	22
2.3 燃烧基本性质.....	27
2.4 爆炸及其分类.....	34
2.5 燃烧与爆炸的关系.....	40
3 流体泄漏模型.....	41
3.1 源项定义和源项特征.....	41
3.2 泄漏速率的计算.....	44
4 气体扩散模型.....	49
4.1 概述.....	49
4.2 高速云羽扩散模型.....	51
4.3 重气云扩散模型.....	53
4.4 非重气云扩散模型.....	58
4.5 扩散模型的性能和不确定性.....	61
5 火灾伤害模型.....	63
5.1 引言.....	63
5.2 室外池火灾伤害模型.....	64
5.3 室内火灾伤害模型.....	77
6 爆炸事故伤害模型.....	107
6.1 概述.....	107
6.2 凝聚相爆炸事故伤害模型.....	109

6.3	无约束蒸气云爆炸事故伤害模型	132
6.4	沸腾液体扩展蒸气爆炸事故伤害模型	153
7	毒气泄漏事故伤害模型	159
7.1	毒物及其分类	159
7.2	毒物侵入人体的途径及其危害	160
7.3	毒性评价指标与影响毒性的因素	163
7.4	减少中毒伤亡人数的措施	169
7.5	毒气泄漏事故伤害模型	173
8	故障树分析	178
8.1	概述	178
8.2	故障树作图	178
8.3	故障树定性分析	188
8.4	故障树定量分析	200
9	易燃易爆有毒危险品泄漏定量风险评价	210
9.1	概述	210
9.2	定量风险评价的基本步骤	212
9.3	氯运输过程定量风险评价举例	235
附录一	深圳“8.5”爆炸火灾事故分析	246
附录二	黄岛油库“8.12”特大火灾事故分析	251
参考文献		255

1 绪论

易燃、易爆、有毒危险品储运过程中，由于撞击、挤压、火焰烘烤等原因，盛装易燃、易爆、有毒危险品的容器有可能被击穿或破裂，泄漏出大量的易燃、易爆、有毒危险品，甚至发生火灾、爆炸和人员中毒事故，导致重大人员伤亡和财产损失。例如，1947年4月16日，在美国 Texas 城的加尔沃斯頓海湾，一艘货船因火灾失去控制^[1]，导致船上装的 4500t 硝酸铵爆炸，516 人死亡，3000 多人受伤，方圆 1609m 范围内的建筑物全被摧毁，财产损失达 6700 万美元。1984 年，发生在印度博帕尔的毒气泄漏事故^[1]，造成 2500 多人死亡，5 万多人失明，20 万人受到毒害。1985 年，发生在墨西哥的液化石油气爆炸事故^[1]，导致 650 人死亡，2500 多人受伤。1989 年 8 月 12 日，发生在我国石油天然气总公司管道局胜利输油公司黄岛油库的特大火灾^[2]，造成 19 人死亡，100 多人受伤，直接经济损失 3540 万元。1993 年 8 月 5 日，发生在我国深圳市清水河化学危险品仓库的火灾、爆炸事故^[3]，造成 15 人死亡，34 人重伤，107 人轻伤，直接经济损失 2.5 亿元。因此，预防和控制易燃、易爆、有毒危险品储运过程中重大事故的发生，对于保障交通安全、减少人员伤亡和财产损失、维护社会稳定，具有十分重要的意义。

通过易燃、易爆、有毒危险品储运过程定量风险评价，辨识易燃、易爆、有毒危险品储运过程中的危险因素，掌握易燃、易爆、有毒危险品储运过程的事故发生规律，预测易燃、易爆、有毒危险品储运过程中各种事故发生的频率和后果，有利于选择合理的易燃、易爆、有毒危险品运输路线，有利于以最小的费用，采取最有效的措施，最大限度地降低易燃、易爆、有毒危险品储运过程中的风险。

1.1 易燃、易爆、有毒危险品的分类和特性

凡受到摩擦、撞击、振动、接触火源、日光曝晒、温度变化或遇到性能有抵触的其他物品等因素的作用，能够发生燃烧、爆炸、中毒等人身伤害或财产损失事故的物品，统称易燃、易爆、有毒危险品。易燃、易爆、有毒危险品种类很多，按其危险性划分为八大类，每类又根据其危险性质和危险程度的不同再分为不同的小类。

1.1.1 爆炸品

凡是受到高热、摩擦、冲击等外力作用或受到其他物品激发，能在极短时间内发生剧烈的化学反应，放出大量的气体和热量，同时伴有巨大的声响而爆炸的固相或液相物品，称为爆炸品。例如 TNT 炸药、黑火药和雷管均属于爆炸品。

1.1.1.1 爆炸品的分类

爆炸品的分类方法很多。为了便于爆炸品的安全管理，按照爆炸品危险性质和危险程度

的不同，将爆炸品分为六类：

1. 有整体爆炸危险且对外界刺激比较敏感的物品。
2. 有抛射危险但无整体爆炸危险的物品。
3. 有火灾危险并兼有局部爆炸危险或局部抛射危险，但无整体爆炸危险的物品。
4. 意外爆炸时无重大危险的物品。这类爆炸品的爆炸效应一般只局限于包装体内，爆炸时不会抛射大破片，也不会向远方抛射破片。即使受到外界火焰的烘烤，包装体内的物品也不会瞬间发生整体爆炸。
5. 有整体爆炸危险但对外界刺激很不敏感的物品。
6. 没有整体爆炸危险且对外界刺激极不敏感的物品。

1.1.1.2 爆炸品的特性

爆炸品的爆炸主要有以下四个特点^[4]：

1. 具有爆炸性

从爆炸品的定义可知，爆炸品均具有爆炸性。而且，爆炸品的爆炸与气体混合物的爆炸不同，主要有如下特点：

(1) 化学反应速度很快

爆炸品的爆炸反应速度很快，可在万分之一秒或更短的时间内反应爆炸，如 1kg 硝铵炸药包完成爆炸反应的时间只有 3×10^{-5} s。

(2) 反应过程中放出大量的热

爆炸品爆炸时可放出大量的热量，温度可达数千度，并产生高压。例如每千克硝化甘油爆炸时能产生 6092~6615kJ 的热量，同时温度可达 4250℃，压力可达 912MPa。如此高温高压形成的冲击波，能使周围的建筑、设备和人员等受到很大破坏或伤害。

(3) 反应过程中产生大量的气体产物

凝聚相爆炸品在爆炸的瞬间，迅速转变为气体状态，使原来的体积成百成千倍地增加。例如，每千克硝化甘油爆炸后能产生 0.716m^3 气体。

2. 具有一定的敏感度

爆炸品在外界作用影响下，发生爆炸反应的难易程度称为爆炸品的敏感度。敏感度的高低以引起爆炸品爆炸所需要的最小外界能量来表示，这最小能量称为起爆能。爆炸品的敏感度越高，所需要的起爆能就越小。影响爆炸品敏感度的因素很多，有内部因素如化学组成与分子结构，还有外界因素如温度、杂质等。

3. 具有不稳定性

爆炸品除具有爆炸性和对撞击、摩擦、温度、杂质的敏感之外，还有遇酸分解、受光线照射分解、与某些金属接触产生不稳定的盐类等特性。这里将这些不同的特性统称为爆炸品的不稳定性。

雷汞炸药遇浓硫酸会发生猛烈的分解而爆炸。TNT 炸药受日光照射，会使敏感度增高，容易引起爆炸。苦味酸炸药能与金属反应生成苦味酸盐，它对摩擦、冲击的敏感度比苦味酸炸药还要高。硝铵炸药易吸湿结块而变质，降低了爆炸能力甚至拒爆。但对已经结块的硝铵炸药，不得用铁器进行粉碎，以防发生爆炸。硝化甘油类混合炸药，由于硝化甘油中的残酸未洗净，经长期储存，温度过高时会自行分解，甚至发生爆炸。为了保持炸药自身的理化性质和爆炸能力，对不同种类的炸药，均规定有不同的保存期限。为了保证安全，工业用炸药必须在规定的保存期内使用。

4. 能够殉爆

爆炸品有一种特殊性质，就是当一个炸药包爆炸时，能引起另一个位于一定距离内的炸药包发生爆炸，这种现象称为殉爆。因此，在保管时应保持一定的距离，以免发生殉爆。

1.1.2 氧化剂

凡能氧化其他物质而自身被还原的物质称为氧化剂。不同的物质，由于内部原子结构不同，氧化其他物质的能力也不同。有的氧化剂氧化能力较强，称为强氧化剂，有的氧化剂氧化能力较弱，称为弱氧化剂。

1.1.2.1 氧化剂的分类

按照氧化剂氧化性的强弱和氧化剂是有机物还是无机物，一般将氧化剂分为如下四类：

1. 一级无机氧化剂

这类氧化剂大多数为碱金属(锂、钠、钾等)和碱土金属(镁、钙等)的过氧化物和盐类。它们的分子中含有过氧基(-O-O-)或高价态元素(N^{+5} 、 Mn^{+7})，性质不稳定、易分解、具有极强的氧化性。例如，过氧化钠、过氧化钾、高氯酸钠、氯酸钾、硝酸钾、高锰酸钠和高锰酸钾等。

2. 二级无机氧化剂

除一级以外的所有无机氧化剂均属此类。它们也容易分解，但比一级氧化剂稳定，具有比较强的氧化性，也能引起燃烧。例如，亚硝酸钾、过二硫酸钠、溴酸钠、铬酸、重铬酸钠、氧化银等都是二级无机氧化剂。

3. 一级有机氧化剂

这类氧化剂大多数为有机过氧化物或硝酸化合物，都含有极不稳定的氧原子，具有极强的氧化性，能引起燃烧或爆炸。如过氧化苯甲酰、硝酸脲等都是二级有机氧化剂。

4. 二级有机氧化剂

除一级以外的所有有机氧化剂均属此类，如过醋酸。它们也易分解放出氧和进行自身的氧化还原反应。

1.1.2.2 氧化剂的特性

氧化剂氧化性的强弱一般遵循如下规律：

1. 对于元素，非金属性越强，其氧化能力就越强。例如，氟的氧化性比氯的氧化性强，而氯的氧化性比溴的氧化性强。

2. 对于离子，所带的正电荷越多，其氧化性越强。例如，正四价的锡离子比正二价的锡离子具有更强的氧化性。

3. 对于化合物，如果其中含有高价态的元素，而且这个元素化合价越高，其氧化性越强。例如，氨不具有氧化性，硝酸钠的氧化性比亚硝酸钠的氧化性强。

4. 氧化剂的氧化性强弱，不仅取决于其元素的非金属性强弱和原子的价态高低，而且在一定程度上，也受其中金属原子活泼性的影响。一般地说，含有活泼金属原子，如钾、钠、锂的氧化剂，其氧化性强一些，含有活泼性差一些的金属原子，如镁、铅、铁的氧化剂，其氧化性弱一些。

5. 大多数氧化剂具有遇热或遇酸分解的特性。例如，硝酸盐类遇热能放出氧和氧化氮气体，遇有机物、易燃物能引起燃烧。硝酸铵与易燃物混合受热分解即发生燃烧或爆炸。过氧化钠遇强酸，能引起燃烧或爆炸。

6. 有些氧化剂容易吸收水分而变质。如三氧化铬吸水后变成铬酸, 高锰酸锌吸水后的液体接触有机物能立即引起燃烧。

1.1.3 气 体

根据联合国危险货物运输专家委员会的定义, 气体是指 50℃ 时蒸气压力大于 300kPa 的物质, 或者在 20℃、101.3kPa 标准压力条件下完全是气态的物质。常压时气体无固定形状, 密度小, 体积大, 能自由流动, 储存和运输困难。因此, 气体一般以压缩气体、液化气体、冷冻液化气体的形式储存在容器中。另外还有一种气体极不稳定, 需溶于溶剂中, 如乙炔需溶解在丙酮中并贮存在钢瓶内, 称为溶解气体。

1.1.3.1 气体的分类

气体按其危险性质的不同可以分为如下三类:

1. 毒害气体

毒害气体是指已证实对人体健康有毒害作用的气体, 或者虽未被证实、但被认为对人体健康有毒害作用的气体。因为按照联合国危险货物运输专家委员会规定的方法进行动物实验时, 这些气体的半数致死浓度 LC_{50} 小于或等于 5000ml/m³ (即 ppm)。毒害气体侵入人体能引起中毒甚至死亡。例如氯气、光气、二氧化硫、氨气、氰、氟化氢、硫化氢、溴甲烷等均是毒害气体。

2. 易燃气体

易燃气体是指 20℃、标准压力 101.3kPa 条件下, 在空气中的燃烧下限小于或等于 13% (体积百分比) 的可燃气体或在空气中的燃烧范围 (体积百分比范围) 大于或等于 12 个百分点的可燃气体。例如一氧化碳、硫化氢、甲烷、乙炔、丙烯、丁二烯、氯乙烷等均是易燃气体。

3. 不燃且无毒气体

这类气体, 如氧气、压缩空气、氮气和二氧化碳气体, 本身虽不燃烧, 而且无毒, 但却可能因提供氧而起助燃作用, 也可能因稀释或替换空气中的氧而对人体产生窒息作用。例如氧气和压缩空气是常见的助燃气体, 空气中常因氮气或二氧化碳气体浓度过高而对人体产生窒息作用。

1.1.3.2 气体的特性

气体一般具有如下特性:

1. 一定量的气体在温度不变时, 对它施加的压力越大, 它的体积就会变得越小, 甚至可以压缩成液体, 这就是气体的可压缩性。气体通常都以压缩或液化状态储存在钢瓶中。但气体液化有一个极限压力和极限温度, 如果超过一定的温度, 气体再加压也不能被液化, 这一温度就是该气体液化的临界温度。例如, 氢气的临界温度是 -240℃。临界温度比常温高的气体, 可以用单纯压缩的方法使其液化, 如氯气、氨气、二氧化硫等。而临界温度比常温低的气体, 就必须在加压的同时, 使温度降低到临界温度以下, 才能使其液化, 如氢气、氧气、一氧化碳等。

2. 气体受热的温度越高, 它膨胀以后形成的压力越大, 这就是气体受热的膨胀性。压缩气体和液化气体盛装在容器内, 如受高温、日晒, 气体就会急剧膨胀, 产生很大的压力, 当压力超过容器的耐压强度时, 就会引起爆炸。如果气体钢瓶泄漏, 气体就会逸散到空气中, 急剧地扩散, 并能随风飘移。如果泄漏的是可燃气, 则容易与空气形成爆炸性混合气体, 遇到点火源则能引起燃烧、爆炸, 而且蔓延扩展。

1.1.4 自燃物质

凡不需要外界点火源的作用,由于本身受空气氧化而放出热量,或受外界温度影响而积热不散,达到自燃点而自行燃烧的物质,称为自燃物质。

1.1.4.1 自燃物质的分类

按其氧化反应的速度及危险性大小,自燃物质分为两类:

1. 一级自燃物质

指在空气中能剧烈氧化,反应速度极快,自燃点低,极易产生自燃且燃烧猛烈、危害性大的物质。例如黄磷、三乙基铝及铝铁熔剂均属于一级自燃物质。

2. 二级自燃物质

指在空气中氧化速度比较慢,在积热不散的条件下能产生自燃的物质。例如含油脂的物品、油布、油纸、作绝缘材料用的蜡布、蜡管、浸油的金属屑均属于二级自燃物质。

1.1.4.2 自燃物质的特性

自燃物质由于化学组成不同以及影响自燃的条件不同,有各自不同的特性。

1. 某些自燃物质的化学性质活泼,极易氧化而引起自燃。如黄磷的化学性质非常活泼,具有很强的还原性,接触空气能迅速与氧化合,产生大量的热,加之它的自燃点很低,只有 30°C ^[5],能很快引起自燃。因此黄磷必须储存在隔离空气的盛水容器中。

2. 某些自燃物质的化学性质很不稳定,容易发生分解而导致自燃。如硝化纤维及其制品,因本身有含氧的硝酸根而很不稳定,在空气中甚至在常温下,也能发生缓慢分解,在阳光及潮解的作用下,会加速分解而析出一氧化氮,后者与氧化合生成二氧化氮。而二氧化氮又与潮湿空气中的水化合,生成硝酸或亚硝酸,进一步加速硝化纤维及其制品的分解,放出的热量越来越多,同时硝化纤维自燃点也较低,在 $120\sim 160^{\circ}\text{C}$ 之间,因而容易引起自燃,并产生有毒的氧化氮气体。

3. 某些自燃物质的分子中,含有较多的不饱和双键,容易和空气中的氧产生氧化作用,因而放出热量,如果热量聚集不散,就会逐渐达到自燃点而引起自燃。如桐油虽不属于自燃物质,但制成油纸、油布、油绸等之后,桐油与空气的接触面增加很多,受空气的缓慢氧化作用产生的热量也就更多,而卷紧、堆压的油纸、油布、油绸等的传热和散热性能又很差,容易达到自燃点而发生自燃。特别是在空气潮湿的情况下,更容易发生自燃。

1.1.5 遇水燃烧物质

凡是能与水发生剧烈反应,放出可燃气体,同时产生热量,从而能引起燃烧的物质,称为遇水燃烧物质。

遇水燃烧物质,除遇水发生剧烈反应外,也能与酸类或氧化剂发生剧烈反应引起燃烧,并且发生燃烧或爆炸的危险性比遇水时更大。

1.1.5.1 遇水燃烧物质的分类

这类物质按危险程度大小分为两类:

1. 一级遇水燃烧物质

遇水或酸时反应速度快,放出易燃气体量多,发热量高,容易引起燃烧或爆炸,如活泼金属、金属氢化物、硼氢化合物、硫的金属化合物、磷化物等。

2. 二级遇水燃烧物质

遇水发生化学反应比较缓慢,放出的热量比较少,产生的可燃气体一般在遇到点火源时才引起燃烧,如石灰氮、锌粉、保险粉等。

1.1.5.2 遇水燃烧物质的特性

这类物质共同的特性是遇水分解。

1. 活泼金属及其合金,如钾、钠、锂、钾钠合金等,遇水即发生剧烈反应,放出氢气及大量的热量,其热量能使氢气自燃或爆炸,尚未来得及反应的金属,会随之燃烧或飞溅。

2. 金属氢化物,如氢化钠、氢化钙等,遇水能剧烈反应而放出氢气。

3. 硼氢化合物,如二硼氢、硼氢化钠等,遇水反应放出氢气。

4. 碳的金属化合物,如碳化钙、碳化铝等,遇水反应剧烈,放出不同的可燃性气体,如乙炔、甲烷等。

5. 磷化物,如磷化钙、磷化锌等,遇水生成磷化氢,在空气中能自燃。

6. 其他遇水燃烧物质,如保险粉和焊接用的镁粉、铝粉等,遇水也能产生可燃气体,有火灾或爆炸的危险。因此,遇水燃烧物质应避免与水或潮湿的空气接触,更应注意与酸和氧化剂隔离。

1.1.6 易燃液体

凡在常温下以液体状态存在,极易挥发和燃烧,其闪点在 45℃ 以下的物质,称为易燃液体。

1.1.6.1 易燃液体的分类

易燃液体的易燃程度,常用闪点表示。闪点越低,则表示该液体越容易燃烧。根据易燃液体的闪点高低,将易燃液体分为两类:

1. 一级易燃液体

是指闪点在 28℃ 以下的易燃液体,如甲苯、乙苯、乙醛、氯苯等。

2. 二级易燃液体

是指闪点在 28℃ 以上,45℃ 以下的易燃液体。如松节油、丁醇等。

1.1.6.2 易燃液体的特性

易燃液体大都是些蒸发热和气化热较小的液体,极易挥发,易燃液体挥发出来的易燃蒸气与空气混合,达到爆炸极限范围内,遇到点火源会立即爆炸,这就是易燃液体蒸气的易爆性。

易燃液体受热后,本身体积要膨胀,同时其蒸气压力也随之增加,部分挥发成蒸气,因此,整个气体的体积膨胀更为迅速。如果储存在密闭容器中,就会造成容器的破裂。

易燃液体大部分粘度较小,很易流动。除醇类、醛类、酮类可以与水相溶外,大多数易燃液体是不溶于水的。了解易燃液体的水溶性,在一旦发生火灾时,有助于正确选用适当的灭火剂。

大部分易燃液体如醚类、酮类、脂类、芳香烃、石油及其产品、二硫化碳等,都是电的不良导体。当其在管道、储罐、槽车、油船的灌注、输送、喷溅和流动过程中,往往由于摩擦而产生静电。当静电荷聚集到一定程度时,就会放电而产生火花,有引起燃烧和爆炸的危险。

1.1.7 易燃固体

凡燃点较低，遇到明火、热源、受摩擦、撞击或与氧化剂接触，能引起剧烈燃烧的固体物质，称为易燃固体。

1.1.7.1 易燃固体的分类

根据易燃性和燃点高低，以及燃烧时的猛烈程度，易燃固体可分为两类：

1. 一级易燃固体

这些物质燃点低，易燃烧或爆炸，燃烧速度快，并能放出剧毒气体。按化学组成，它们又可以分为三类：

(1) 赤磷及含磷化合物，它们都具有一定的毒性。

(2) 硝基化合物，这些物质含有硝基或亚硝基，很不稳定，燃烧过程中常发生爆炸，如二硝基苯、二硝基萘等。

(3) 其他一级易燃固体，它们除易燃外，大都有毒性或有腐蚀性，如闪光粉、氨基化钠等。

2. 二级易燃固体

这些物质的燃烧性比一级易燃固体差一些，燃烧速度略慢些，燃烧产生的毒气量比较少，毒性也比较小。按化学组成，又将它们分为五类：

(1) 易燃金属粉末，这些物质不仅燃烧温度高，可达千度以上，而且粉末飞扬后，能与空气形成爆炸性混合物，如镁粉、铝粉、锰粉等。

(2) 碱金属氨基化合物，如氨基化锂、氨基化钙等。

(3) 硝基化合物，如 2,4-二亚硝基间苯二酚等。

(4) 萘及其衍生物，如萘、甲基萘等。

(5) 其他二级易燃固体，如硫磺、聚甲醛等。

1.1.7.2 易燃固体的特性

易燃固体物质的燃烧方式，在常温下是固体，当受热后就熔化，它们的燃烧类似液体物质的燃烧。一般的燃烧过程是先受热熔化，然后蒸发气化，再分解、氧化直到出现有火焰的燃烧。但易燃固体由于化学组成和性质不同，各有其不同的燃烧方式。如萘为片状结晶，有易于升华的特点，受热后即蒸发，可以不经过熔化而直接变为气体分子被氧化而燃烧。某些金属粉末如镁粉、铝粉等，遇到点火源能与氧直接化合而燃烧，不会发生气体和火焰，只发出灼热的火光，燃烧温度可达千度以上。并且，在高温下能与水反应放出氢气，在粉尘飞扬时，遇到点火源还会发生爆炸。

1.1.8 毒害物质

凡少量进入人、畜机体内或接触皮肤能与机体组织发生作用，破坏正常生理功能，引起机体暂时或永久病理变态，甚至死亡的物质，称为毒害物质。

1.1.8.1 毒害物质的分类

毒害物质的种类很多，按化学结构可分为有机毒物 and 无机毒物，按毒性大小又可分为剧毒品和有毒品。根据交通部“危险货物运输规则”的规定，凡口服或由皮肤接触毒物时，生物试验半数致死剂量 LD_{50} 在 50mg/kg 以下，人体吸入气体毒害品，半数致死浓度 LC_{50} 在 2mg/l 以下，能造成死亡者均属剧毒品。除剧毒品以外的毒害物质属于有毒品。因此，在交通储运

方面，可以将毒害物质分为无机剧毒品、无机有毒品、有机剧毒品和有机有毒品四类。

1.1.8.2 毒害物质的特性

毒害物质在水中的溶解度越大，毒性也越大。如氯化钡易溶于水，毒性就大，而硫酸钡在水中和脂肪中均不溶解，因此没有毒性。有的虽不溶于水，但能溶于脂肪，因此也有毒，称为脂肪性毒物。

1.2 易燃、易爆、有毒危险品的储存和运输

1.2.1 对储存保管的安全要求

1.2.1.1 一般安全要求

1. 易燃、易爆、有毒危险品的储存地点及建筑结构，应根据国家的有关规定设置，并考虑对周围居民区的影响。

2. 易燃、易爆、有毒危险品露天堆放，应符合防火防爆的安全要求，爆炸品、一级易燃物质、遇水燃烧物质、剧毒物质和浓酸不得露天堆放。

3. 易燃、易爆、有毒危险品的安全消防卫生设施，应根据危险性质设置相应的防火、防爆、泄压、通风、调节温度、防潮和防雨等安全措施。

4. 必须加强易燃、易爆、有毒危险品的入库检查，防止发料差错，特别是爆炸品、剧毒物质和放射性物质，应采取双人收发、双人记账、双人双锁、双人运输和双人使用“五双制”的方法加以管理。

5. 应经常检查，发现问题及时处理，并严格易燃、易爆、有毒危险品库房的出入制度。

6. 易燃、易爆、有毒危险品的储存，根据其危险特性及灭火方法的不同，应严格按表 1.1 的规定分类储存。

1.2.1.2 爆炸品储存的安全要求

爆炸品的储存按公安、铁道、化工等部门关于《爆炸品管理规则》的规定办理。

1. 爆炸品必须存放在专用仓库内。储存爆炸品的仓库禁止设在城镇、市区和居民聚居的地区。并且应当和周围建筑、交通要道、输电线路等保持一定的安全距离。

2. 爆炸品仓库，不得同时存放性质相抵触的爆炸品，并不得超过规定的储存数量。如雷管不得与其他爆炸品混合储存。

3. 一切爆炸品不得与酸、碱、盐类以及某些金属、氧化剂等同库储存。

4. 爆炸品的堆放，为了通风、装卸和便于出入检查，堆垛不应过高、过密。一般堆垛的高度，不宜超过 1.8m。对敏感度高的雷管等，垛高不宜超过 1.5m。墙距不少于 0.5m，垛距不少于 1m。为了防潮，在堆垛下应垫有 0.10m 左右的方型垫木。

5. 爆炸品仓库的温度、湿度应加强调节和控制。在库房内应设置干湿计，并有专人负责定时观测、记录，并采取有效的通风、保暖、吸湿等措施。夏季库温一般不超过 30℃，相对湿度经常保持在 75% 以下，最高不超过 80%。冬季库温应保持在 15~25℃ 之间。

1.2.1.3 氧化剂储存的安全要求

1. 氧化剂与其他物质共同储存的要求

有机氧化剂都是性质不稳定的易燃物质，遇到氧能加强燃烧，因此，一级无机氧化剂与有机氧化剂不能混合储存。漂白粉、亚硝酸盐、亚氯酸盐和次亚氯酸盐等都是无机氧化剂，但它们能够被氧化剂中其他大多数氧化剂氧化，因此不能和其他氧化剂混合储存。一级氧化

剂的氧化能力很强，如与易燃气体接触，容易引起燃烧或钢瓶爆炸。因此一级氧化剂不能与压缩气体和液化气体混合储存。

毒害物质大多数是有机物，与无机氧化剂接触能引起燃烧或爆炸。因此，毒害物质与氧化剂不能混合储存。

表 1.1 易燃、易爆、有毒危险品分类储存原则表

危险物质种类和举例		不准共同储存的物质名称	附 注
爆炸性物质，如叠氮铅、雷汞、硝化棉(含氮量在 12.5%以上)、硝铵炸药等		不准和任何其他种类的物质共同储存，必须单独隔离储存	
易燃和可燃液体，如汽油、苯、二硫化碳、甲苯、煤油、氯苯、松节油、樟脑油等		不准和其他种类的物质共同储存	如数量很少，允许和固体易燃物质隔开后共同储存
压缩气体和液化气体	可燃气体，如氢、甲烷、甲醚、一氧化碳、硫化氢、氨等	除不燃气体外，不准和其他种类的物质共同储存	
	不燃气体，如氮、二氧化碳、氟、氩、氟利昂等	除可燃气体、助燃气体、氧化剂和有毒物质外，不准和其他种类的物质共同储存	
	助燃气体，如氧、压缩空气、氯等	除不燃气体和有毒物质外，不准和其他种类的物质共同储存	氯兼有毒性
遇水或空气能自燃的物质，如钾、钠、锌粉、黄磷等		不准和其他种类的物质共同储存	钾、钠必须浸入石油中，黄磷必须浸入水中储存
易燃固体，如赛璐珞、赤磷、萘、樟脑、硫磺、二硝基苯等		不准和其他种类的物质共同储存	赛璐珞必须单独隔离储存
1 能形成爆炸混合物的氧化剂，如氯酸钠、硝酸钾、过氧化钡、30%的过氧化氢等 2 能引起燃烧的氧化剂，如溴、硝酸、高锰酸钾等		除惰性气体外，不准和其他种类的物质共同储存	过氧化物有分解爆炸危险，应单独储存。 过氧化氢应储存在阴凉处所。 表中的两类氧化剂应隔离储存
毒害物质，如光气、五氧化二砷、氰化钠等		除不燃气体和助燃气体外，不准和其他种类的物质共同储存	

有机氧化剂与溴、过氧化氢、硝酸等酸性物质接触，能发生剧烈反应。因此，有机氧化剂不能与溴、过氧化氢、硝酸等酸性物质混合储存。

硝酸盐与硫酸、发烟硫酸、氯磺酸接触时，会发生化学反应。因此，它们不能混合储存。

2. 对储存氧化剂温、湿度的要求

储存氧化剂的仓库，应设置有温度计和湿度计，定时进行观察和记录，以便及时调节和控制。过氧化物受热后，不仅容易挥发和膨胀，同时还会加速分解。一些含有结晶水的硝酸盐类，如硝酸锰等低熔点的氧化剂，受热后能溶于本身的结晶水中，若封闭不严，极易吸潮而溶化。库温保持在 28℃ 以下较为适宜，一般氧化剂库温均不宜超过 35℃。

有些氧化剂，如硝酸铵、硝酸钙、硝酸镁等容易吸潮而溶化，库房内应保持干燥，相对湿度不宜超过 75%，而一般氧化剂的库房内相对湿度宜保持在 80% 以下，不宜超过 85%。

1.2.1.4 压缩气体和液化气体储存的安全要求

1. 压缩气体和液化气体与其他物质共同储存的安全要求

压缩气体和液化气体必须与爆炸品、氧化剂、易燃物质、自燃物质、腐蚀性物质隔离储存。

易燃气体不得与助燃气体、剧毒气体共同储存。例如，氢、乙烷、环氧乙烷等易燃气体不得与氧、压缩空气、氧化二氮等助燃气体混合储存。易燃气体和剧毒气体也不能与腐蚀性

物质如硝酸等混合储存。因为腐蚀性物质能使钢瓶受到损坏。

氧气不得与油脂,包括动物油、植物油和矿物油等混合储存。因为氧有较强的氧化作用,使油脂氧化而产生热量,以至使其燃烧。在燃烧中产生高温,反过来又造成氧气瓶受热,瓶内气体膨胀而引起爆炸。

2. 液化石油气储罐区的要求

液化石油气储罐库应布置在通风良好而远离明火或散发火花的露天地带,应设置在明火的平行风向或下风向,不设在散发火花的下风向。不宜与易燃、可燃液体储罐同组布置,更不应设在一个土堤内。压力卧式液化气罐的纵轴,不宜对着重要建筑物、重要设备、交通要道及人员集中的场所。

液化石油气储罐可单独布置,也可成组布置。成组布置时,组内储罐不应超过两排。一组储罐的总容量不应超过 4000m^3 。

储罐与储罐组四周可设防火堤。两相邻防火堤外侧基脚线之间的距离不应小于 7m ,堤高不超过 1m 。

液化石油气储罐罐体基础的外露部分及罐组内的地面,应为非燃烧材料,罐上应设有安全阀、压力计、液面计、温度计以及超压报警装置。无绝热措施时,应设淋水冷却设施。储罐的安全阀及放空管应结入全厂性火炬。独立储罐的放空管应通往安全地点放空。安全阀与储罐之间如安装有截止阀,截止阀应常开并加有铅封。储罐应设置静电接地及防雷设施,罐区内电气设备应防爆。

3. 对气瓶储存的安全要求

储存气瓶的仓库,应为单层建筑,设置易掀开的轻质屋顶,地坪可用不发火沥青砂浆混凝土铺设,门窗都向外开启,玻璃涂以白色。库温不宜超过 35°C ,有通风降温措施。瓶库应用防火墙分隔为若干单独分间,每一分间有安全出入口。气瓶仓库最大储存量,不应超过有关规定^[4]。

对直立放置的气瓶,应设有起固定作用的栅栏或支架以防倾倒。对不能直立放置的气瓶可以卧放,但必须使之固定以防滚动。气瓶的头尾方向在堆放时应取一致。高压气瓶的堆放高度不宜超过五层。气瓶应远离热源并旋紧安全帽。储存氧气等助燃气体及可燃气体的气瓶,无论堆放在仓库或露天堆场,周围 10m 内禁止堆放易燃物并不得动用明火。对盛装易起聚合反应气体的气瓶,必须规定储存期限,并应随时检查有无漏气或堆放不稳的情况。如检查中发现瓶有漏气,应首先做好人身保护,站立上风处,向气瓶倾浇冷水,使其冷却后,再去旋紧阀门。若发现气瓶燃烧,可以根据所盛气体的性质,使用相应的灭火器具,但最主要的是用雾状水去喷射,使其冷却再进行扑灭。对有毒气体气瓶的燃烧扑救,应注意站在上风向,并使用防毒用具,切勿靠近气瓶的头部或尾部,以防发生爆炸伤害。

1.2.1.5 自燃物质储存的安全要求

一级自燃物质性质不稳定,在一定条件下,它可以自行燃烧,引起其他易燃物质的燃烧,所以不能和易燃液体、易燃固体混合储存。因灭火方法或因其中稳定剂性质相抵触,它和遇水燃烧物质也不能混合储存。

自燃物质、易燃固体和液体以及腐蚀性物质,如溴、过氧化氢、硝酸等,都不能混合储存。

自燃物质在储存中,对温度和湿度的要求是比较严的。该类物质须储存于阴凉、通风干燥的仓库中,并注意做好防火防毒。