

【英】J·克罗斯 D·法勒 著

粉尘爆炸

化学工业出版社

X928.10

K-491

粉 尘 爆 炸

【英】 J. 克罗斯 D. 法勒 著

项云林 译

化 学 工 业 出 版 社

(京) 新登字039号

J. Cross D. Farren

Dust Explosions

Plenum Press, New York

1982

粉 尘 爆 炸

项云林 译

责任编辑: 林晨虹 张婉如

封面设计: 天 晔

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里1号)

化学工业出版社印刷厂印刷

东升装订厂装订

新华书店北京发行所经售

*

开本787×1092 1/32 印张8 1/2 字数15千字

1993年9月第1版 1993年9月北京第1次印刷

印 数 1—1,100

ISBN 7-5025-1109-1/TQ·646

定 价 6.50元

778585

译者说明

关于可燃性气体、蒸气空气混合物的防爆安全问题一直是各有关工业部门所重视的问题。四十年来，我国广大科技人员对可燃性气体的燃烧、爆炸理论和各种防爆措施进行了研究，积累了许多经验，制订了一些标准和管理法规，为保证安全生产，保护人身和设备免受爆炸危害做了许多工作，取得很大成绩。粉尘爆炸带来的危害也是巨大的。随着现代化工业的发展，粉末技术的广泛应用，粉末产物日益增多，大大增加了粉尘爆炸的潜在危险。由于国内外粉尘爆炸事故经常发生而逐渐引起了人们的关注。但是，我国对于粉尘方面的燃烧、爆炸理论及各种防爆措施的研究工作起步较晚，许多方面，特别是标准方面还是空白。国内关于粉尘爆炸方面的系统专著极少，以致人们对它的危险性和应采取的预防措施了解不多。为此，翻译此书，供有关人员参考。

本书是英国J. 克罗斯和 D. 法勒写的一本关于粉尘爆炸方面的专著，介绍了粉尘爆炸条件、各种危险点燃源的作用及其灾害实例，特别对静电点燃及其测试技术作了较详细介绍，叙述粉尘爆炸的各种防护措施和工艺设备潜在危险的评估方法。本书列举了各国现行粉尘防爆标准和检验机构，而且还按各个专题列出了详细的文献目录，为我国从事粉尘防爆的广大科技人员提供了系统的有参考价值的资料信息。

本书除第7章由宋荣敏翻译外，其它均由项云林同志翻

译。本书包括的内容较广，加之译者水平有限，缺点和错误之处，恳切希望读者批评指正。

译者

1992年5月

序 言

1979年美国接连发生两起大型谷物仓库的爆炸事故，大大增强了人们对粉尘爆炸介质的关注。但是这两起事故并不是唯一的爆炸事故，只是人员伤亡数的统计结果惨重而非同寻常。

任何以细粉末形态扩散的易氧化物质都是可以爆炸的，并且在工业生产过程中容易出现一些具有足够能量点燃粉尘云的点燃源。在许多工业部门中，经常发生粉尘火灾和一些小事故，值得庆幸的是，偶然事故和导致事故的环境同时引发的大范围爆炸却很罕见。虽然多数情况下都是精心管理的，但是工业生产中通常有许多潜在的危险情况存在。

爆炸性粉尘云和能发生点燃的环境，不能按相当于气体或可燃蒸气的情况给予简单的说明。已经作了大量的定义和试验来描述粉尘的爆炸性以及各种点燃源。本书的目的是要为简述工业中能够产生粉尘爆炸的条件和避免的方法提供指南，书中叙述了评定一个流程或一项产品的潜在危险的一些方法，特别注意对各种试验方法的结果进行解释，最后，对通常引用的粉末点燃特性以及它们与工业状况的联系进行了评价。

J. 克罗斯

D. 法 勒

内 容 提 要

本书叙述了粉尘爆炸条件,各种点燃源作用,特别对静电点燃及其测试方法作了详细介绍,并针对各种点燃源列举了一些粉尘爆炸典型事例。本书还阐述了粉尘爆炸危险特性、工艺设备潜在危险评估方法和各种粉尘爆炸防护措施。书中还列举了一些工业国家的现行粉尘防爆标准及检验机构,并按专题列出了详细的参考文献,为科技人员提供了系统的有参考价值的资料信息。

本书可供从事环保和安全领域有关方面工作的设计、研究、生产和管理等方面的人员和干部参考,也可作为高等院校环保、安全专业教学参考书。

目 录

符号说明

第 1 章 引言	1
1.1 粉尘是怎样、在何处和为什么发生点燃的	1
1.2 点燃源——统计资料	3
1.3 点燃源	10
1.4 粉末物质的点燃特性	11
1.5 粉尘分类体系	12
1.6 防护系统	15
1.7 一般的考虑	16
第 2 章 点燃源	17
2.1 焊接、切割和火焰	17
2.2 自动加热——自燃	19
2.3 热表面	25
2.4 火花	30
2.5 二次点燃	48
第 3 章 静电	50
3.1 引言	50
3.2 定义和关系	51
3.3 测量技术	62
3.4 工业环境中静电测量示例	88
第 4 章 粉末的静电点燃	93
4.1 粉末的静电充电	93
4.2 静电电荷的积聚	98
4.3 静电安全准则	102

4.4	静电的消除	107
4.5	电击	119
4.6	静电粉末喷涂系统中的安全	124
第5章	粉末的特性及其测试	126
5.1	前言	126
5.2	一般特性——颗粒大小和形状	127
5.3	粉尘的电阻率	129
5.4	湿度	133
5.5	工作场所的粉尘浓度	134
5.6	可燃性	136
5.7	热试验	140
5.8	最小点燃能量	154
5.9	最低爆炸浓度	159
5.10	最高氧浓度	161
5.11	最大压力升高速度、最大爆炸压力	162
5.12	颗粒特性对点燃特性的影响	167
5.13	高温环境对点燃参数的影响	174
5.14	小结	175
第6章	工艺设备的安全设计	177
6.1	形式化的安全分析	177
6.2	生产过程的危险	186
6.3	人为因素	203
6.4	粉尘控制	204
第7章	粉尘爆炸防护	208
7.1	前言	208
7.2	爆炸封锁	209
7.3	泄爆—爆炸泄压防护	211
7.4	爆炸抑制	227
7.5	惰化	234
7.6	阻焰器和自动阻火器	236

附录	239
(一) 静电公式摘要	239
(二) 鉴定和标准	240
(三) 爆炸数据来源	246
专题文献	248
(一) 火灾	248
(二) 粉尘爆炸——一般	249
(三) 生产过程	251
(四) 设备布置	251
(五) 危险性分析	252
(六) 试验方法	252
(七) 焊接	253
(八) 静电	253
(九) 冲击火花	254
(十) 电气设备	255
(十一) 热点燃	255
(十二) 设备的泄爆	256
(十三) 建筑物的泄爆	258
(十四) 抑制	259
(十五) 惰化	260
(十六) 事故的典型事例	260
参考文献	261

第1章 引言

1.1 粉尘是怎样、在何处和为什么发生点燃的

在空气中能够燃烧的任何固体物质，当其分裂成细粉末状时，都可能发生爆炸。如果物质的颗粒尺寸很小，即使它们的氧化速度比通常所说的术语“燃烧”中所指的氧化速度慢得多时，也能发生灾难性的着火。食用药物、谷物产品、有机材料、聚合物和金属都能发生爆炸。氧化是一种放热反应。通常，在固体样品中，产生的热量很容易被固体吸收。但是，对于粉末，发生氧化的表面积很大，而颗粒的体积却很小，因此温度上升。氧化速度增快，就会产生出更多的热量，以致很快达到失控状态。

一些迹象表明，爆炸前固体蒸发，而向蒸发表面提供足够的热量是爆炸的必要条件。但还不知道对所有材料是否都如此。不过，在煤粉的点燃中它肯定起着重要作用，其间释放出甲烷气体，而且在许多聚合物的燃烧中，开始着火时就发生局部的分解。

当粉末处于积层状或堆积状，或者粉尘云很浓时，可能没有充足的氧气使反应快速进行至发生爆炸。对于多种粉尘，存在一个在空气中传播粉尘爆炸的最佳颗粒密度；一方面一些颗粒应依次紧密靠近某个开始发生反应的颗粒，另一方面它们又要离得远一些，以便氧气能够自由进入。这就产生了一个最低爆炸浓度和最高爆炸浓度的概念。

最高爆炸浓度不是一个很易确定的参数，它难于测定。假

定在某一密度之上状态的粉尘是安全的，但从安全角度来看这又是很危险的，因为粉尘层能够燃烧或是缓慢地焖烧，也可能自动加热着火。粉尘层也很容易被扰动产生一个爆炸粉尘层。常常很难发觉沉积粉尘的缓慢燃烧。当它们移到本系统的另一部分或被扰动形成一个粉尘云时，就可能成为一个特别危险的点燃源。

最低爆炸浓度（伴随着爆炸性气体和蒸气的术语，有时称为爆炸下限或LEL）很易确定，并且是表征爆炸粉尘的参数之一。

每当空气中处于爆炸浓度范围内的粉尘云和一个点燃源同时存在时，就可能发生粉尘爆炸。电火花、静电火花、过热的粉末颗粒或是具有足够能量使少数颗粒发生反应的任何其它能源都会成为点燃源。在事故状态下或因操作者的失误都可能产生许多点燃源，以致要把安全措施完全建立在消除点燃源的基础上几乎是不现实的。如果在一个场所内有可能出现爆炸粉尘云，这就需要降低场所的氧气含量来防止爆炸，或采取泄压、抑制或封锁压力上升的办法来控制爆炸的后果。

在许多大型粉尘爆炸中，不能过份强调二次爆炸时产生的极大危险。第一次爆炸常常是限于一个有限区域内的小规模事故，但是对另一个区域或对初始爆炸所产生的粉尘云却构成了一个高能的粉尘点燃源。

为了消除危险并把因事故所产生的危险减至最小，在设计设备和装置时，不仅仅要对每个部件单独考虑，而且还要对设备进行整体考虑：必须没有粉尘层，它促使爆炸从一个区域传到另一个区域；而且每一个区域内的故障在下次运行中不应产生危险的工况。因为泄压孔的配置不合适或对碎片、燃烧的粉末所设置的通路缺乏预见性，从而使一个区域内的小型着火事

故引起另一个区域内的爆炸事故是屡见不鲜的。

1.2 点燃源——统计资料

对于许多工业部门来说，并不能很容易的得到关于粉尘火灾和爆炸事故原因的完整统计资料。各国一些组织所公布的资料并不一致，因为其来源不是在相同的基础上得到的。各个工业部门完全可能有各种不同的问题，而且这时所怀疑的都是每个工业部门的最通常的点燃源。但是，也可能一旦一个点燃源被鉴别出来却又都错误地认为另一些事故也是它造成的。因此，一个具体的点燃源在一个具体的工业部门中就成为“流行”的了，而事实上几乎又没有证明其正确性。

大多数广泛报道过并进行了专门研究的偶然事故却是损害很大的事故。在这些事故中，要可靠地鉴别出点燃源是困难的。少数火灾和爆炸（其中一些在稍为不同的环境条件下就可能导致严重的事故）很少得到统计报告。通常为了尽快完全恢复生产，而没有对原因进行充分的调查研究。

虽然从分析爆炸事故的结果中（如火灾的损失和残骸碎片的范围）能够对点燃源有相当的了解，但很少进行这类实践，除非损害很严重以致不能把哪种事故引起爆炸和哪种事故是因爆炸引起的区别开来。

这类研究常常显示出两三个可能存在的点燃源，而在所报告的事故中又不知是什么点燃源，或是在各种可能性中猜测最可能的一个点燃源。

结果是只能采用已公布的统计资料和一些典型例证，作为对一些可能存在的点燃源、设备的事故以及应该避免的情况的一般性指导。

英国消防杂志、美国国家消防协会、欧洲的劳动保护以及

一些代表保险公司和主要化学公司的组织公布了一些火灾爆炸方面的报告。

虽然公布的某些典型例证不能认为是工业中的火灾爆炸实际情况的完善记载，但在考虑一个具体装置可能发生的各种问题时，这种构想仍是一付极有益的刺激剂。特别是它们常常清晰地显示出装置的各个部分和出现一个小事故而逐步升级酿成一个大灾害之间的相互联系。鉴于这个原因，本书中列举了大量的典型事例证和事例。但不能把它们看作是工业部门事故的代表例，它们只是可能发生的事故的一些简单例子和各种事故类型的实例说明。

1977年12月美国谷物加工业发生了两起事故。这两起事故发生的时间很接近并造成了许多人员的伤亡，因而又重新唤起人们对粉尘爆炸问题的关注。

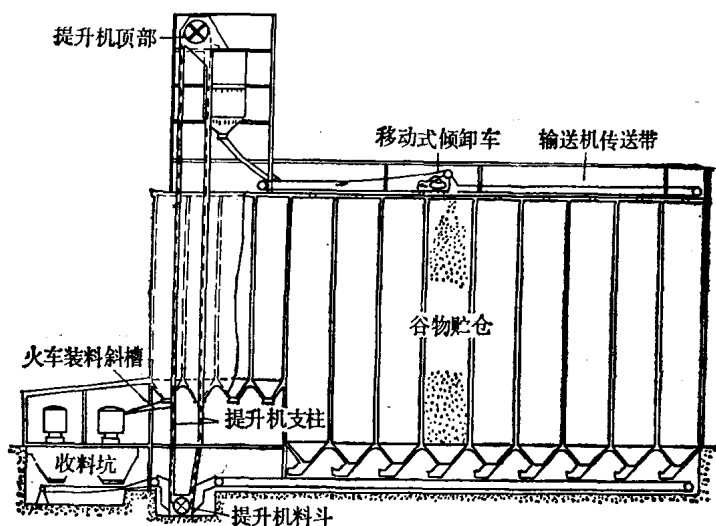


图 1-1 典型的谷物输出总站

下面是从美国国家消防协会出版的1978年9月号“火灾杂志”上关于这两起事故报告的摘要。

这两起爆炸在几个方面是相似的：（1）房屋都相当的新；（2）都是钢筋混凝土结构；（3）都缺少泄爆的合适措施；（4）办公建筑都在主厂房附近。

典型事例——谷物仓库

大陆谷物仓库，路易斯安那州，Westwego：36人死亡，估计损失1500万英镑

这个工厂由下列部分组成：73个贮仓，5个大型金属谷罐，卸料拖车传动装置，卸料驳船和载货船运装置，一座塔形建筑物，内部安有谷物运输机的主厂房及各种称量装置；此外还有邻近主厂房的运载、清理、谷物抽样等设备，一个办公建筑物，除了办公外，还有一个实验室、小餐厅和控制室。贮仓和主厂房是钢筋混凝土结构。贮仓有三组，都高35m，但有3种不同的直径，即7.6m、7.9m和9.4m。地道、地下室和贮仓上面的升降运输结构都装有泄爆装置。据报道，一些贮仓有中间贮仓室。为了泄爆的目的，76m高主厂房的23m顶盖是由轻质量的金属板制成的。虽然已设置了一些泄压孔，但看来并不合适。

爆炸大约是在9点零5分发生的，此时有75人在现场。结果主厂房的40m顶盖压到办公建筑物上。一个受伤者几周后死亡。

除主厂房和办公建筑物被破坏外，爆炸和火灾还毁坏了一半以上的贮仓，它们是1959年和1962年建的。许多贮仓顶盖和底部附近的侧面已爆裂。1977年建的贮仓几乎没有谷物，但它们的锥形金属底部已经向内爆裂，这组贮仓的许多顶盖也被毁坏。

农场主输出谷物仓库，德克萨斯州，Galveston：8人死亡，估计损失1200万英镑

这套设备于1976年夏天投入使用。它包括：（1）60个钢筋混凝土贮仓，每个直径7.6m，高38m，178mm厚的壁和127mm厚的顶部；（2）两个大型金属谷物罐；（3）一个钢筋混凝土建筑物，高70m，主厂房；（4）一个不燃结构的单层办公建筑物；（5）在金属机架上一座供运货车

卸货的金属车库建筑；(6)安装有三台输送机的钢筋混凝土巷道，输送机把卸货车库与主厂房连通（这个巷道在办公建筑物下）。

主厂房、贮仓或运输机巷道均无有效的泄压孔。主厂房中的每个输送机支线管有一个泄爆栏栅，顶部截面为 1.68×1.29 (m)。

运货车的卸货车库有一些供底部卸货的设备，三台货车可同时进入三个地槽。一个地槽还可以用倾卸方法接收谷物，但是在爆炸的那天晚上，三个地槽都是底部卸货。

爆炸前，输送谷物到最北边一排贮仓的输送机的输送带因修理而停转。发生爆炸时维修人员刚刚用无线电通知控制室重新开动输送带，但不知电动机是否已经开动。

8点31分发生爆炸，死18人，伤22人。其中运货车的卸货车库、这个车库和主厂房之间的巷道、中央控制室均被毁坏。主厂房和办公建筑物损坏严重，以致必须拆除，1号谷罐倒塌，2号罐谷物着火。

由于巷道毁坏产生一个大沟，切断了进入现场灭火的唯一道路，并且也切断了主要供水线。

6台设备在卸货车库范围内，9个在主厂房内，2个在控制室，一个在外面。庆幸的是在后1小时没有一个人在办公室内。

两起事故的探讨

两种情况都没有确定出点燃源。Galveston的爆炸认为是在运货车卸货车库中的2号地槽范围内开始的，并且通过巷道进入主厂房。点燃源可能是柴油电动机车，那时它在地槽上面。据报导粉尘聚积是Galveston现场的一个问题。

虽然这些潮湿区域湿度较低，但也考虑了湿度，可处理谷物的许多地方并不被认为湿度低。

不合适的泄爆孔使爆炸时产生很大的压力（即令它设置了足够多的泄爆孔）也会造成比预计要大得多的损失。

这些事故是典型的随时可发生的问题，缺少防爆孔或其它的防护形式加上整个装置上的粉尘层使这些事故转变成严重的

祸患。把办公建筑物建在无通风的粉尘云区域附近大大增加了死亡的几率。

其它工业部门并不总是能理解到，这两起事故正是因人员伤亡惨重而非同寻常。多年来，美国每年发生 8~15 起造成相

表 1-1 1958~1978 年谷物加工设备中的爆炸、
死亡、受伤和火灾统计

年代	美国发生的 爆炸次数	死亡人数	受伤人数	谷物仓库的火 灾估计次数 ^① (NFPA)
1958	18	2	27	3260
1959	10	3	18	2200
1960	12	4	18	2300
1961	10	0	17	2100
1962	9	3	51	2300
1963	14	3	30	2200
1964	8	3	22	2000
1965	9	2	5	1900
1966	14	2	22	2000
1967	17	1	14	3000
1968	16	12	38	5300
1969	6	4	13	4700
1970	10	1	14	3000
1971	10	4	14	3100
1972	8	7	23	2400
1973	8	2	10	1800
1974	15	13	37	2200
1975	9	4	19	2200
1976	22	22	82	—
1977	21	65	84	—
1978	12	7	47	—
总计	250	164	605	

① 未得到1975年以后的谷物仓库火灾估计数。