

石油化工厂防火手册

〔美〕查尔斯·H·弗瓦林 著



石油工业出版社

石油化工厂防火手册

〔美〕 查尔斯·H.弗瓦林 著

石油部北京石油设计院 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书为石油化工厂所适用的一本防火手册。内容包括：火灾、爆炸和爆震的历史实例；消防原理；灭火物质；爆炸和爆震的诸因素；电气灾害；火灾防护设施；如何扑灭烃类火灾；开工、停工步骤；检查和调查；应灾计划等十章。

书中评述了在石油化工厂中所发生过的90余起火灾、爆炸和爆震事故。分析了原因和改进措施。并通过大量的实验数据阐明了火灾、爆炸和爆震的原理，如何选择灭火物质，以及事故的预防措施和灭火方法。对事故的检查、人员培训等也做了介绍。

本书在翻译过程中，对第六章的内容作了较大的删节，对第二章、第五章、第七章、第八章和第十章作了部分的删节。此外，对书中的图片也作了一定的删节。

本书由熊吉纳、胡德铭、王加玮、王丽端、童以豪、蔡庆祺、戴加荣、林晶、林毅夫、沈怀训、晁可绳、唐学勤、李学澄、张汝存、胡以厚、方怡中、阙道友、李晓如、徐心兰、钟显述等同志翻译。全书译后经朱康福同志审校，龚慰鹤、李永昌同志也参加了校对工作。

本书可供从事炼油、石油化工、公安消防、建筑等部门的科研、设计、管理人员使用，亦可供有关高等院校师生参考。

〔美〕 CHARLES H. VERVALIN
FIRE PROTECTION MANUAL FOR HYDROCARBON PROCESSING PLANTS
GULF PUBLISHING COMPANY
HOUSTON TEXAS. 1973

石油化工厂防火手册

〔美〕 查尔斯·H. 弗瓦林 著

石油部北京石油设计院 译

石油工业出版社出版
(北京安定门外外馆东后街甲36号)
通县印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 32¹/₂印张 818千字 印 1—6,600

1983年6月北京第1版 1983年6月北京第1次印刷

书号：15037·2382 定价：3.30元

目 录

第一章 火灾、爆炸和爆震的历史事例

- 一、重整装置爆震引起怀亭厂大火.....(R.B.雅各布斯等 美国石油公司) (2)
- 二、氯气-石脑油的爆震.....(J.J.约翰逊, R.L.扬基 美国石油公司) (6)
- 三、联合装置泵房火灾.....(W.H.St.克莱尔 国际炼油公司) (9)
- 四、裂解厂的爆炸.....(C.D.阿德科克, J.D.韦尔登 道化学公司) (12)
- 五、燃气轮机的重大事故.....(B.H.希尔德 塞拉尼斯化学公司) (18)
- 六、联轴节的破坏和润滑油着火.....(小乔治·奥斯特洛特 孟山都公司) (22)
- 七、炔醇工厂爆炸.....(弗雷德·洛伦茨 霍夫曼-拉·罗什公司) (27)
- 八、阿维逊的反应器着火.....(R.M.齐林斯基 阿维逊公司) (33)
- 九、丁二烯装置爆炸.....(S.格林菲斯 联合碳化物公司) (38)
- 十、荷兰壳牌公司炼厂的火灾.....(迈尔斯·沃兹沃思 国家防火协会) (44)
- 十一、杜邦公司的聚合工厂爆炸.....(J.G.阿米斯特德 E.L.杜邦公司) (47)
- 十二、在加拿大孟山都公司的聚苯乙烯爆炸.....(火灾杂志编辑) (53)
- 十三、蒸馏、磺化过程爆炸.....(火灾杂志编辑) (58)
- 十四、不寻常的油罐破裂.....(火灾杂志编辑) (61)
- 十五、液化石油气运输车着火.....(查尔斯·加雷特 伦敦 安大略) (64)
- 十六、液体丙烷罐拖车泄漏.....(火灾杂志编辑) (67)
- 十七、汽油罐破裂失火.....(火灾杂志编辑) (69)
- 十八、合成氨装置爆炸.....(吉雄坂井, 东京, 通商产业省轻工局) (71)
- 十九、压缩机试验设备爆炸.....(达尔文 W.施米特 英格索尔兰德公司) (75)
- 二十、惰性气体+管线布置不良=爆炸
.....(D.S.亚历山大, C.M.菲尼干 聚合物有限公司) (80)
- 二十一、焦化装置爆炸.....(O.A.皮普金 城市服务石油公司) (83)
- 二十二、取样弹爆炸.....(J.C.杜科门 印第安那州标准油品公司) (89)
- 二十三、阿美石油公司着火的教训.....(T.J.莱尼 美国石油公司) (91)
- 二十四、一座烷基化装置的爆震.....(J.W.贝特曼 大陆油品公司) (95)
- 二十五、各种各样的事故.....(C.H.弗瓦林 《烃加工》杂志) (101)
- 二十六、来自国家防火协会(NFPA)的事例.....(108)
- 二十七、石油保险协会的资料.....(117)

第二章 消防原理

- 一、油是怎样燃烧的.....(J.L.莱辛格) (122)
- 二、防火须知.....(J.L.莱辛格) (128)
- 三、厂址选择与平面布置.....(J.L.莱辛格) (133)
- 四、工厂平面布置与设计基础.....(J.J.达根 火灾研究与工程顾问) (137)
- 五、化学品贮存的五种比较安全的方法.....(詹姆斯·J.达根) (149)

六、烃类产品的燃烧特性	(J.L. 莱辛格)	(145)
七、各种烃类产品的火焰传播	(J.L. 莱辛格)	(150)
八、引燃源	(J.L. 莱辛格, C.H. 弗瓦林)	(152)
九、液化天然气火灾和爆炸的危险	(戴维伯吉斯, 迈克尔G. 札贝塔克斯 美国内务部)	(166)
第三章 灭火物质		
一、水和干粉的应用	(查尔斯.H. 弗瓦林 《烃加工》杂志)	(185)
二、泡沫在灭火中的作用	(查尔斯.H. 弗瓦林 《烃加工》杂志)	(193)
三、阳离子及两性电解质表面活性剂、CO ₂ 及燃烧的抑制作用	(查尔斯.H. 弗瓦林 《烃加工》杂志)	(199)
四、如何用阻滞剂防止塑料火灾	(R.H. 丹姆斯 孟山都化学公司)	(204)
第四章 爆炸与爆震中的诸因素		
一、防爆的理论方面和实际方面	(乔治.J. 格拉博斯基 费沃尔公司)	(212)
二、强裂爆震的性质	(R.B. 雅各布斯 美国石油公司)	(216)
三、雾滴能引起爆炸	(J. 艾科恩 道化学公司)	(221)
四、谨防工艺过程的爆炸危险	(R.B. 雅各布, R.H. 布伦克, F.W. 沙因尼曼 美国石油公司)	(225)
五、烃类-空气爆震的工业状况	(欧文·金斯伯格, 威廉·巴尔克利 美国石油公司)	(232)
六、空气管道的爆炸危险	(J.E. 马洛 菲利浦石油公司)	(236)
七、安全阀和防爆膜	(彼得A. 普利奥 工业加工设备公司)	(238)
八、压力泄放装置的配管	(L.R. 德里斯凯尔 勃洛-诺克斯化学工厂公司)	(245)
九、如何安全地使用取样弹	(J.C. 杜科蒙 美国石油公司)	(254)
第五章 电气灾害		
一、静电基础	(罗杰.V. 赖特)	(259)
二、静电灾害	(约翰.C. 霍华德 安全顾问)	(267)
三、静电实验结果	(劳伦斯·赖特, 欧文·金斯伯格 美国石油公司)	(274)
四、工厂用电	(美国田纳西石油公司)	(284)
五、起电的现象学	(J. 加维斯, H.E. 霍尔舍 约翰·霍普金斯大学化学工程系)	(291)
六、防爆电气系统	(拉塞尔.P. 诺斯拉普 克罗斯-欣德斯公司)	(299)
七、估算在油罐车装油时的静电危险	(R.E. 赫佐格, E.C. 巴拉德, H.A. 哈通 大西洋里奇弗尔德公司)	(302)
第六章 火灾防护设施		
一、炼油装置的防护设施	(威廉.C. 布卢姆 壳牌石油公司)	(314)
二、厂内事故处理系统	(田纳科油品公司加工部)	(321)
三、油罐安全措施	(查尔斯.H. 弗瓦林 《烃加工》杂志)	(327)
四、飞马公司的双药剂消防车	(诺曼.R. 洛克伍德 飞马石油公司)	(330)
五、蒸汽熄火系统可保证安全	(E. 任尼斯, E.M. 卡门斯基 美国石油公司)	(339)
六、中型试验厂的安全设计	(约瑟夫·李基 道化学公司)	(341)
七、炼厂火炬系统的安全操作	(W.C. 布卢姆 壳牌石油公司)	(346)

八、喷气燃料的贮运	(J. L. 莱辛格)	(359)
九、球罐的安全操作	(H. T. 富勒, R. E. 布里斯特莱 飞马石油公司)	(364)
十、一个大型石油化工厂怎样掌握其消防用水的配置	(雷·威尔逊 孟山都化学公司)	(372)
第七章 如何扑灭烃类火灾		
一、如何扑灭炼油厂的火灾	(J. L. 莱辛格)	(377)
二、浮顶油罐火灾的控制	(J. L. 莱辛格)	(387)
三、如何控制和防止原油罐火灾	(J. L. 莱辛格)	(391)
四、高蒸汽压油品的控制	(J. L. 莱辛格)	(398)
五、如何对付液化天然气工厂的火灾	(W. L. 沃尔 国家防火协会)	(402)
第八章 开工和停工步骤		
一、炼厂工艺装置的安全开停工	(A. H. 海斯, R. M. 梅莱温 美国石油公司)	(409)
二、蒸馏装置的开停工	(W. S. 蓬内尔, J. A. 伯恩斯 海湾石油公司)	(418)
三、减压和常压装置的安全开停工	(R. W. 鲍尔默 美孚油公司)	(426)
四、开工的早期计划	(E. P. 巴恩特 加利福尼亚州联合油公司)	(431)
五、对明火加热炉安全停工系统的选择	(唐·查尔顿 大西洋炼油公司)	(437)
六、为了取得更好的装置开工专门设计的培训	(雷蒙德·O. 洛恩)	(443)
第九章 检查和调查		
一、防火规划中的基本检查点	(L. A. 兰迪 化工建设公司)	(450)
二、安全程序的发展情况	(R. C. 小斯坦霍夫 美国石油公司)	(455)
三、工厂安全检查和解剖	(J. U. 派克)	(459)
四、如何去处理一个安全检查	(V. J. 怀特霍恩, H. W. 布朗 菲利浦石油公司)	(468)
五、如何调查工厂的灾害	(迈克尔斯, E. 林奇)	(480)
第十章 应灾计划		
应灾计划的基础	(《烃加工》杂志编辑)	(490)

第一章 火灾、爆炸和爆震 的历史事例

1969年10月美国联合碳化物公司得克萨斯城烯烃厂的火灾爆炸事故，损失了八百万美元，是当年烃加工工业中失火及安全事故等坏消息的最后一次。1970年十起损失最大的工业火灾中有四起发生在烃加工厂。据国家防火协会(NFPA)统计，其中损失最大的一起是亨伯石油炼制公司的新泽西城林登炼油厂，计损失五千万美元。其它还有损失六百万美元的飞马石油公司得克萨斯州的标蒙特炼厂，和损失三百万美元的宾夕法尼亚州弗兰克林城附近的威特科化学公司阿马利炼油厂。

到1971年，1972年这些不幸事件仍继续发生。尽管据国家防火协会报道，烃加工工业中巨大损失事故的数量在减少，但每次事故的平均损失额却剧增。这是由于工厂规模扩大及其生产能力增加的缘故。因此看来，烃加工工业无论怎样努力，仍不能消除火灾、爆炸和爆震的发生，因为安全操作所要求控制的挥发物质实在太多了。

但回顾碳化物公司烯烃厂事故，可以从中吸取某些有益的东西。公司在1970年3月举行的记者招待会上坦率介绍了实际情况，不作任何回避和辩解，提出了技术方面的错误和采取的补救措施。

后来碳化物公司向西方所有丁二烯生产厂公布了爆炸原因。最后他们发表了一篇技术报告。本章中将重新发表原来在“烃加工”杂志上发表过的这篇报告。

这种公开态度是一个很好的迹象。在我作为“烃加工”杂志消防和安全编辑的多年工作中，我记得没有几家公司曾这样坦率介绍他们的事故发生原因。在安全问题上已经分享详细情报资料的其他公司中，碳化物公司应能享有值得受人称赞的位置。其它公司的资料在本章中也将加以介绍。

愿意与其他公司交换历史事例的情况，意味着树立了一个有希望使其他公司效法的榜样。许多公司仍然不愿意交换这方面情报，他们担心承担法律责任和引起纠纷。这些消极方面的东西竟然超过了对人类生命的关心。他们阻碍了安全方面必要的意见交流，使各公司各自为政。

“如果你不告诉我，我就不告诉你。”

“其他公司都不公开，为什么我们要公开？”

“家丑不可外扬。”

“我们确实不知道爆炸的原因，并且不希望发表片面的情报，这种情报可能比不发表更坏。”

但是在这一节中列举了几个已经公布事故实例。这种信赖，加上相互尊重和对目标的探索精神，以及对人类生命的关切，就有希望得到一个更安全的烃加工工业。

一、重整装置爆震引起怀亭厂大火

(R. B. 雅各布斯等 美国石油公司)

时间：1965年8月，上午6点12分。

地点：美国石油公司印第安纳州怀亭炼厂

当时在大型流化重整装置中发生一连串内部爆震。主要爆炸出现在反应器和高压分离器内，完全损坏了这些设备。其它，在管线、换热器、一个分离罐和一座吸收塔中也发生了爆炸，它们的损坏不那么严重。除两处管弯头外，其它未发现破裂。

反应器和分离器的爆炸造成严重破裂，裂片(尤其是反应器的)散落在366米(1200英尺)宽的面积上。有的裂片刚好落在重整装置北面的罐区，引起许多罐着火，最后扩及16.2公顷(40英亩)，造成63个罐，以及大约201915米³(1270000桶)原油和各种油品完全毁掉。

爆炸时装置正是停工后的开工。两个主要容器：反应器和再生器正同时升温。再生器是通过燃烧用的空气管线打入压缩空气来加热。反应器则由惰性气通过组合加热炉循环而进行加热。空气系统的压力正常地应维持低于惰性系统压力约0.703公斤/厘米²(10磅/英寸²)。

石脑油正在装置内进行循环(但不通过反应器，在这一步操作中反应器是旁通绕过的)。由于一系列不幸的情况，使惰性气混进了空气和石脑油油气，形成易燃的混合气，在7.38公斤/厘米²(105磅/英寸²)表压下大约含19%的O₂和3%的油气。没有催化剂。

流化重整装置高79.2米(260英尺)。反应器高38.7米(127英尺)，直径7.2米(23.5英尺)。由合金钢板制造，厚度从60.3毫米(2 $\frac{3}{8}$ 英寸)到69.8毫米(2 $\frac{7}{8}$ 英寸)不等。两个再生器尾气烟囱和六个泄压阀出口位于装置最高点。爆炸将44%的反应器抛出装置区外。

爆炸时附近许多人看到从重整装置顶部附近喷出火焰，几秒钟后听到从那个方向传来一声巨响。他们看到反应器炸裂，碎片在空中飞散，接着又听到第二声更强烈的爆炸声，整个装置区域立刻陷入烟雾和火海中。

大部分装置操作人员在控制室附近。据他们追忆，当时听到一阵隆隆声，然后是第一声爆炸，并将他们中一些人震倒了。接着冒起一股黑烟和尘土，因此能见度很低。等他们爬起来开始跑开以后，出现了第二次更强烈爆炸，再次将其中一些人震倒，这以后又有几次较小的爆炸。

反应器碎片散落在离装置边界100~200米(几百英尺)以外的地方，一块60吨重的碎片落在一个汽油罐上，使它严重击损，并使罐中的汽油着火、飞溅。

可供调查的关键“物证”是装置区内的一堆残骸。若干仪表的记录未损坏，其它是在散失地点的油污泥土中找回的。

(一) 事 故 调 查

调查有两个方面。首先是确定产生可燃混合气并引发着火的事实和确切顺序。可燃混合气是在装置(包括反应器)某几个部分产生的。引火可能发生在循环气线路中热的炉管表面上。第二方面是利用散落的残物残片重现事故状况。这是很困难的，尤其因为调查中遇到一些明显的矛盾。第一，烃和空气混合怎么能产生如此强大的力量，以至摧毁反应器并使它崩裂

开？用一般方法进行的爆炸压力计算，理当说明在当时条件下反应器不会破坏。并且，计算出来的有效能量，即使通过最有效的可能机理也不足以使容器炸成碎片。第二，为什么两次几乎同样强烈的爆炸相隔几秒钟后连续发生？很难设想有什么理由会使相隔402.3米（ $\frac{1}{4}$ 英里）管线长的两个设备（反应器和高压分离罐），在几秒钟内一个接一个的爆炸？人们可以设想，如果一个设备着火并爆炸，那末这个系统就会与大气连通，火焰就很难窜到另一个设备中去，因为后面这个设备中的物料将迅速向火焰相对的方向排放出来。

另一个问题是现场一些目睹者是否确实在爆炸发生前几秒钟看到从装置喷出的火焰？如果他们看到的情况属实，那这又怎么会发生的呢？还有，为什么站在1.61公里（1英里）左右以外的目睹者先听到一声巨响，然后才看到反应器炸裂呢？只有当设备内部发生一连串爆震，才能将该事件的各片断连贯在一起。

(二)爆震的性质

这次事故中起重大作用的爆震特性有以下几点：

- ①爆震前火焰行程，尤其是容器尺寸和形状对爆震前期长短的影响。
- ②湍流对加速爆震的影响。
- ③爆震锋中产生的高压。
- ④爆震锋中能量的集聚程度。

反应器碎片的断裂边缘呈人字形。根据这一形状可以推测出：(a)断裂延伸的方向；(b)断裂的类型，从而推测出断裂扩展的大致速度为每秒1524米(5000英尺)。

长而连续的断裂纹表示爆震速度小于1524米/秒(5000英尺/秒)。一旦容器开始破裂，原始的断裂扩展得很厉害。如果爆震速度大于1524米/秒，则爆震压力波就可能在老的断裂扩展之前产生大量新的断裂，通常使老的断裂中断，并使容器产生更多的碎片。

尽管爆震释放的总能量并不超过普通爆炸的能量，但是因为能量集中在爆震波中，它具有更为有效的推力。

曾多次观察过反应器内部损坏情况，并计算过损坏所需要的压力。调查证明，瞬时间的局部压力远远超过不发生爆震的最大可能压力56.25~63.28公斤/厘米²(800~900磅/英寸²，表压)。

催化剂汽提器上半段有好几处向内的凹陷，而下半段则有几处向外凸起。上半部是由反应器中向上走的震波(对汽提器而言，在外面)震坏的。震波在向上的半路中达到足够强烈的程度，而使容器毁坏。

几处凸起是在汽提器内后来发生的向下扩展的爆震造成，估计第二次爆震是由第一次爆震穿过汽提器开口(约在结构上方1/3的地方)而引燃的。

在容器向上3/4的地方发现有五处原始裂口，这说明震波首先在这点上达到足够强度，将容器震裂，并且五个地方裂开。此后，断裂向上和向下扩展。在标高较低的地方，显然由于弯曲应力产生二次断裂。中心线以上的大多数碎片落在远离装置界区以外，而容器底由于反冲力而稍有位移，并有所扩开，然后倒塌。

仔细检查破损情况提供了在不同管路上火焰蔓延方向的许多线索。最有价值的线索是破折管线。当金属所受应力超过弹性限度时就会产生这种扭曲变形的管线。在新暴露的金属表面出现铁锈以后，尤其明显。

另一类物证是内部构件，如挡板、蝶阀和锐孔板。有的已脱开，有的甚至穿过附近的弯头甩出去。通过它们运动的方向就可以判断出该处的火焰蔓延方向。

在有的管线中，火焰仅向一个方向蔓延，有的有两个方向，在一个中间地点会合。反应器顶部至换热器的管线中，火焰是向反应器方向蔓延，通过泄压阀冒向空中。

有四条并联管程的线路通过循环加热炉。这几条不同线路的损伤程度显然逐条下降，四条线路都曾发生内部爆炸。一条线路先爆炸，部分地泄掉了其它线路的压力。然后另一条爆炸，进一步降低了下一条线路的压力，以此类推。其中两条线路上的蝶阀和锐孔板飞离的方向相反。这证明这些线路中同时发生两个相反方向的爆炸。

爆震锋速度约每秒914.4米到1219.2米(3000英尺到4000英尺)，这是一个含19% O_2 、3% C_5 烃的混合物可能具有的速度。高度湍流(15.24~30.48米/秒即50~100英尺/秒)的循环管线中的爆震前期时间很短(千分之几秒)；较静止的容器中，爆震前期时间依其尺寸而定，但要长得多。

假定引燃发生在加热炉的热循环管中，引燃0.3秒钟后装置里产生两股爆震波向相反方向传播。一股向下游朝着去反应器的方向引燃其它三条加热炉的管程，这些管中的火焰又向上游扩展窜到一个换热器中。

0.6秒钟后，反应器着火。0.9秒钟后，爆震窜过整个装置，将蝶阀阀板震向右方，直管段上的锐孔板向上抛起。接着的一个爆震波和第一次的一样，只不过由于当地的压力降低而强度变小了。这种压力降低是由于这一段有了一个开口通向大气。

这时装置有两个工段从两端起火，两个反方向的焰锋向中心运动。当第一个焰锋到达共同的集合管时就引起二次焰锋着火。这时焰锋已到达一个换热器的壳程，并使装置干燥罐着火。

引燃1.2秒钟后，两个主要工段已经爆炸。由于两个反方向的焰锋的作用，阀盘甩向右方，孔板衡向下方。一个换热器中产生爆震，震坏了许多管子，使火从壳程窜入管程。这是唯一可能的起火途径，它产生一个焰锋，在顶部气相管线中走向反应器。这是因为火焰不可能来自高压急冷罐的方向，原因是该罐中的介质对燃烧来讲是“太浓”了。

虽然外部检查结果清楚地表明了火势的这样发展过程，但这个假定的有效性仍然是有疑问的。爆震既有能将管子震坏的强度，也会很容易地震裂冷凝器的壳体。但壳体只是凸起。这意味着管子未破裂，而是温度增高，成为引燃的来源。但因为爆震在换热器中的停留时间很短，这一点也就很难说明问题。当最后为了检查切开换热器壳体时，许多管子由于爆炸使折流板移位被切断了。

着火5秒钟后，火从装置顶部泄压阀窜出。这就解释了装置附近几个人观察到的现象：在听到爆炸前看到火焰。进入一个换热器壳程的焰锋穿过离心式循环压缩机，顺着火势方向吹掉了压缩机的叶片。

火焰蔓延到分离器，在这里形成了充分发展的焰锋。爆震的强大力量冲击容器顶盖，使分离器爆裂，并把碎片主要向右和向上抛去。估计分离器爆炸发生在反应器之前，理由有以下几点：第一，残片的位置，虽不是结论性的，却是指向这个方向的。第二，相信两者爆炸的时间相隔约4秒钟。如果反应器先爆炸，那么分离器在4秒钟内失去的压力就会太多，而难以按所示形式那样爆炸。由于分离器破坏使反应器压力降低，降低的量将会显著地较小，原因是反应器的体积要大得多。

引燃后大约11秒钟，反应器中的焰锋发展到足够摧毁它的强度，它的上半部如前面指

出的那样抛向空中。事故发生的顺序与1.61公里(1英里)以外首先听到爆炸声、并仰视看到反应器炸裂飞开的见证人的叙述是一致的。毫无疑问,他们的注意力是被分离器的爆炸所吸引的,因为除非在反应器破裂4、5秒钟之后,他们是不会听到反应器的爆炸声的。

(三) 结 论

根据毁坏程度的观察结果进行爆炸能和压力的计算,其结果表明在主要容器和管线中都存在冲击波。仔细检验残片得到的金属材质状况,能够确定主要容器破裂时其中冲击波锋的位置。通过损折管线的地点和装置各部件的位置分析,就能确定火势行程的方向。根据这些事实,结合已知的爆震性质,就能将引燃后的事故发展次序再现出来,从而使得具有表面上矛盾的物证和目击者的叙述取得一致。

二、氯气-石脑油的爆震

(J. J. 约翰逊, R. L. 扬基 美国石油公司)

1961年4月11日,美国石油公司伍德河炼厂的石脑油加工设备发生强烈爆炸,炸毁了一个小混合器的进口段。几公里(几英里)外听到了爆炸声,钢板碎片遍及全装置区,人未受伤。这次灾害,包括随后的火灾在内,仅波及到一些小的价值不高的设备。

当时溶剂石脑油正在用苛性次氯酸盐水溶液进行处理。事故是为了增加次氯酸盐溶液强度,刚按常规注入液氯后发生的。

有人怀疑爆炸性的氯-烃反应可能是造成强烈能量释放的原因。但是还需要分析操作情况,才能确定这些物料如何能汇集一起达到足够数量,并处于适宜爆炸的条件下的。

(一)生产操作情况

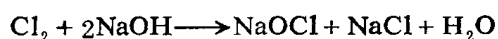
脱硫后的石脑油在双塔系统中分馏,脱去低沸点和高沸点的馏分。162.78°C(325°F)到193.33°C(380°F)沸程(ASTM D86)的石脑油经冷凝罐,在37.78°C(100°F)下流入回流罐。

为了防止出现真空而可能使空气进入塔内,回流罐中打入氮气,使维持每平方厘米零点几公斤(每平方英寸几磅)的正压(表压)。回流罐出口处的泵将一部分石脑油打回塔内作回流,并提供压力使成品油经精制设备去成品油储罐。石脑油的典型组成是50%(体)的烷烃,10~15%的芳烃,不到1%的烯烃,余下的是环烷烃。

在精制段,石脑油和苛性次氯酸盐溶液分别流过76.2毫米和50.8毫米(3英寸和2英寸)的管线,在一段短的锥形管中混合,短管用法兰接上孔板混合器的入口。通过混合器时两者充分接触。混合器为长1.676米(5½英尺)、直径152.4毫米(6英寸)的圆管,内装四块孔板。

混合器下游的管道系统中还设有几个回弯管系,使液流在进入沉降罐前再加以补充接触。在沉降罐中石脑油和溶液进行分离。每日397.5米³(2500桶)成品油从沉降罐罐顶抽出送去储罐。处理溶液用泵按2(溶液):1(油)的体积比打回混合器入口。在这种流速下混合器入口压力为3.2公斤/厘米²(表),即45磅/英寸²(表),而沉降罐中压力为1.8公斤/厘米²(表),即25磅/英寸²(表)。流体的温度为32.2~37.8°C(90~100°F)。

每隔一星期从沉降罐排出大部分废次氯酸盐溶液,换入2271.2升(600加仑)新鲜的15%氢氧化钠水溶液。循环液和石脑油继续按此流程操作。然后加氯,和碱反应生成次氯酸钠溶液,反应式如下:



一星期内按规定间隔时间须追加两次氯,以便加大溶液浓度。每次加氯是将放在地秤上的氯气瓶倒转过来,放出一定量的液化氯。它进入51毫米(2英寸)的精制溶液管线,在泵出口管后面1~2米(几英尺),而在混合器之前36.6米(120英尺)。

1960年6月开工,在操作最初三个月,每次加液态氯4.5公斤(10磅),之后每次增加到6.8公斤(15磅)。有时是在处理液输送时添加液态氯的。

(二)爆炸和火灾

爆炸恰好发生在星期中间的一次注液态氯之后。溶液泵已停车，用阀门切断。添加了6.8公斤(15磅)的液态氯，泵的手动吸入阀和输出阀又重新打开。泵启动后操作人员准备走开。他仅走开几步就发生了爆炸。

离地面5.5米(18英尺)高的混合器与它的管线脱开，落在约1.8米(6英尺)下的走道上。混合器入口处的异径短管炸裂成碎片。固定在短管和混合器间法兰接头处的厚12~14规的孔板破裂后，被推进混合器中，混合器前端裂开450~610毫米(1.5~2英尺)。

炸碎的钢板从100多克到3.3公斤(几盎司到7¼磅)，差不多共有23公斤(50磅)重，散落在事故点以外90多米(300多英尺)的地区。一颗170克(6盎司)重的螺栓，在12米(40英尺)以外的一根76毫米(3英寸)管子上打了一个25毫米(1英寸)深的坑。一块1.5公斤(3¼磅)的管法兰碎片，在同样距离上的一根203毫米(8英寸)工字钢梁腹上穿了一个152毫米(6英寸)的方形孔。

爆炸使石脑油从管中流出，着了火，并引起一场相当大，但还是局部的、延续25分钟的大火。由于切断了分馏部分和贮罐的油路将火扑灭了。灭火时使用了4条水龙带冷却金属结构。

可燃性气体或蒸气分布在空气中或氧气中的易燃混合物，是炼油厂操作中最常见的爆炸起因。系统中有这些易燃混合物存在，这里只需微量或可能被认为是安全的浓度低的氧，就已引起过若干次大灾难。有鉴于这种经验，曾进行过检查，看是否有足量的空气或氧进入精制工段，而引起这种爆炸。事实并不是这样。

在过程中没有用空气或氧。即使空气被溶解或夹带在原料油中，那末除了极微量的空气外，全部都随塔顶馏分离开第一分馏塔。剩下的空气将集中在第二塔塔顶回流罐被氮气覆盖的油气空间里。事故后对油气空间进行分析，表明有部分氧存在，即：1.2% (体)的 O_2 ，0.9%的 CO_2 ，剩余量是 N_2 ，但含量大大低于形成易燃混合气体的需要量。

添加氯液时，精制工段仍处于约1.8公斤/厘米²(表)，即25磅/英寸²(表)的压力下，所以不可能漏入空气。对气瓶中气体的分析，证明所加入的是氯气。

既然已排除空气或氧是事故起因，那末就应考虑是氯和石脑油烃类的爆炸性反应了。查找资料发现了20多篇文献，其中好几篇证实氯和饱和烃之间会发生很强烈的爆炸和爆震反应。

炸毁混合器和异径进口管大管端的152毫米(6英寸)厚度标号40号的钢管，内压应超过351.6公斤/厘米²(表)，即5000磅/英寸²(表)。由法兰和异径管而增加的强度会被腐蚀和冲击负荷的作用抵销。这表示必须发挥至少等于351.6公斤/厘米²(表)，即5000磅/英寸²(表)压力的力，才能炸碎混合器的进口段。

因此，按混合器入口的内压为3.2公斤/厘米²(表)，即45磅/英寸²(表)计算，最后和最初的绝压比至少为84。这个压力比就被称为压力倍增值。

没有找到有关氯-烃爆炸时所得压力倍增值的数据。但对于空气-烃和氧-烃混合气的正常气相爆炸，最大压力倍增值仅相应为10和20。对于氧-烃混合气相爆震，在没有冲击和压力累积的作用下(这种作用在小小的混合器入口段是不会发生的)，典型的压力倍增值是40左右。

此外，因为每克分子氯气反应释放的热量仅是氧气的 $\frac{1}{4}$ ，所以氯-烃混合气相反应产生的压力倍增值将较低。实际发生的较大的压力倍增值表明，反应必然出现在液相中。

考虑到放出的能量，这是一个补充证据，说明必须发生过液相反应。小小的混合器入口段不会在气相中含有足够的氯-烃反应物，能够提供足以将混合器炸成碎片、射出碎块并在工字钢梁腹上打穿一个152毫米(6英寸)孔的能量。这样的严重破碎与碎片射出的猛烈程度表明这不是爆炸，而是爆震。

当溶液泵停车并准备注氯液时，管线内装满了 32.2°C (90°F) 的苛性次氯酸盐溶液。因为只有石脑油流过混合器的孔板，混合器入口处和注氯点的压力下降到 1.9 公斤/厘米²(表)，即 27 磅/英寸²(表)。在该压力下氯液在 -7.8°C (18°F) 沸腾。

当 6.8 公斤(15磅)氯液进料在 10°C (50°F) 下泄放到管线中时，约有 0.45 公斤(1磅)氯液立刻闪蒸成蒸气。在 51 毫米(2英寸)管线 $2.1\sim 3.1$ 米(7~10英尺)长的管段中，由于与其余的液体接触而得到的热量，又可使 $6.9\sim 1.4$ 公斤(2~3磅)的氯蒸发。此外，一部分氯液在管中与烧碱结合，也放出一部分热量促使进一步蒸发。

结合上述的热效应，可想象到在刚注氯液后循环泵起动时， 6.8 公斤(15磅)进料有一半以上仍是液体。泵开动时，由于氯液流过 36.6 米(120英尺)长的去混合器的管线时产生的阻力，又会进一步得到热量。但是压力增加到 3.2 公斤/厘米²(表)，即 45 磅/英寸²(表)时，就使氯液不再蒸发。

因此，混合器中至少注入 0.45 公斤(1磅)或更多的液态氯，这与操作条件是协调的。操作条件只需要作很小改变，使氯液充分蒸发，以防止到达混合器的氯液达到危险数量。安全操作和剧烈反应之间在操作条件上的这种边际性的微小变化，就是以前操作中沒有发生事故的原因。

主要的是，当由于设备发生故障或失效，或由于操作人员误操作，在有可能造成氯、烃混合的条件时，工艺过程中不应使用氯气。工艺中取消氯是避免危险最直接的办法。

安全操作的历史并不是判断一种工艺的危险性的适当标准。

三、联合装置泵房火灾

(W. H. St. 克莱尔 国际炼油公司)

1959年8月3日在美国明尼苏达州国际炼油厂公司的雷恩歇尔炼油厂联合装置中发生了一起火灾。两人受伤，泵房全部烧毁，损失近500000美元。工厂停工两个半月。

该厂由联合装置，重整装置和相应的辅助设施，如锅炉房、罐区、装油台、机修车间和办公室等组成。联合装置包括常减压、催化裂化、气体分馏、以及叠合装置和油品精制工段。装置内没有所谓的操作中间罐。

进料原油在离开装置以前，它已完全被精制。中央控制室是全部操作的核心。联合装置的控制室和开关柜位于一个宽13.7米(45英尺)、长61米(200英尺)的建筑物的中心。建筑物中催化气体压缩机、鼓风机和气体分馏的泵位于北部，常减压、催化裂化和精制工段的泵位于南部。建筑物周围是工艺设备。控制室和开关柜室是正压的。新鲜空气从离地面7.7米(25英尺)的高处引入。

发生火灾13.7×24.4米(45×80英尺)的南泵房共有29台泵。进出泵的管线架空敷设。因为若干台泵相互连接作为备用，管线很复杂。油泵出口管上的油品控制阀沿泵房西墙内侧布置。

建筑物为钢结构框架，带混凝土预制墙板，房顶为内设保温层的波纹镀锌钢板。泵房有六道门，墙上有十个窗户。通向控制室的门是钢防火门。窗上装有铁丝网加强的玻璃。

(一)火灾及其后果

发生火灾的当晚，装置在正常操作。操作工已注意到常压塔底泵出口压力波动，这表明泵入口过滤器开始堵塞了。这是很平常的情况。惯常的作法是停止塔底离心泵操作，换上备用的往复式蒸汽泵，直到入口段过滤器取出洗净为止。

这台往复泵是三台重油泵的备用泵，总是空转着，每分钟约保持2~3冲程。操作工打开这台泵的出口阀，准备用作常压塔底泵。常压塔底离心泵仍然在线。当操作工打开往复泵入口阀时，他看到在他左肩上方闪出一道火光，并有热油喷出。他跑出泵房，发出最初的警报。这时是下午8点45分。

操作工听到火警报警后，立即按训练规定，投入紧急程序操作。原油流量切断为零，常压炉停火。因为装置变电所里的温度很高，烟雾特别大，所以切断了向装置供电的变电站的电源。出动了炼厂消防车，装置的消防水枪也投入灭火。

装置警卫开始按提供给他们紧急召集名单召集人员。三个附近城市的志愿消防部门支援了人员和三辆消防车。

起火时，炼厂里有13人。白班后消防队只有4个人，其中1人就是当时正在着火的操作装置中的那位。尽管这样，他们还是凑合着按受过的训练，采取紧急措施。

防腐剂、添加剂罐流出的物料和破损管线流出的油使火灾持续下去。高温使建筑物内的屋盖桁架倒塌，管线变形。泵房中间的设有防火层的管柱使管线没有全部垮下来。这些管柱用铁丝网加筋的38毫米(1½英寸)厚的耐火蛭石水泥层来防火。火使墙壁预制块裂开移位。窗户外凸，但铁丝网加筋的玻璃未飞裂。有6条63毫米(2½英寸)、4条38毫米(1½英寸)的

水龙带和63毫米(2½英寸)的喷水枪用来灭火和冷却临近设备。使用了5678升(1500加仑)的3%泡沫和1066公斤(2350磅)的干粉药剂。

火迅速被控制住,约在下午10点30分被扑灭了。为了不致再着火,南泵房内在灭火后继续对设备喷水一小时。在这时操作人员看守着装置。一直延续到第二天,容器排出的油气仍在火炬顶上燃烧。

(二) 损 失

泵房完全毁坏。管线扭曲得也很严重,火烧过的法兰和阀门无法重新使用。29台泵中有18台(主要是油泵)可由制造厂大修。其余11台(大多为碱液和防腐剂泵)需更新。不耐火的屋盖和构件扭曲毁坏。甚至混凝土地坪和泵基础均被击碎和出现裂缝。

这样庞大的损失(50000^①美元),主要归罪于建筑物内的泵和管线的密集。另外,由于建筑物的存在,火被局限住,没有蔓延到装置其它地段。由于与泵房相邻的防火墙的有效作用,控制室也未损坏。当重新修筑已经裂开和局部隆起的防火墙时,新墙延伸穿过屋盖,使墙和屋盖接缝处具有可靠的密封。

(三) 烃的来源和起火原因

调查废墟时,发现常压塔底离心泵的76毫米(3英寸)出口管线上有一个打开的19毫米(¾英寸)管接头,泵附近扭曲的管线上有一个松掉的19毫米(¾英寸)阀和内外丝。内外丝在管接头丝扣处断裂,它和阀一起与管接头分开。这一个连接点位于最初起火的区域中。

拔头原油在385°C(725°F),5.3公斤/厘米²(表),即75磅/英寸²(表)下从冲开的管接头处喷出是很可能自燃的。即使切断电源,因为蒸汽往复泵在起火后继续空转了一段时间,因此原油在压力下继续从管接头流出。

19毫米(¾英寸)内外丝是碳钢的。泵出口管是铬5合金钢。内外丝封焊在阀上,而在管接头上没有封焊。管接头的丝扣情况良好,但内外丝的丝扣完全腐蚀了。内外丝经测径器测量,内径等于21.4毫米(0.843英寸),而新的40号内外丝的内径是20.9毫米(0.824英寸)。

这段特别的接管最初是为水压试验排液而安装的,很可能自那以后从来未用过。根据生产经验,凡是38毫米(1½英寸)以下的管线全部采用80号厚度。内外丝在以前检验中曾受过手锤敲击检验,有锤击痕迹可以证明这一点。内外丝和阀门处的封焊可能使检验者认为在管接头和内外丝处(已在管线保温层下面)也有同样的封焊。

(四) 恢 复 工 作

这次火灾结果,装置里700多个内外丝扣和丝扣堵头都卸下检验。其中7个的丝扣不合格或很差。拆下检验的内外丝全部更换。根据安装位置和用途,分别采用碳钢,铬5合金钢和18-8铬镍钢材料。凡陈旧的接头都取消。

因为需要使装置恢复生产,虽然原来平面布置中有某些明显不合理的地方,但也不可能

^①按上文可能是50万美元之误——译者。

重新设计新管线和重新布置泵。但靠西墙的控制阀组站重新设置到建筑物外面去了。

靠近热油泵的西墙窗户用易熔链条联接的百页窗所代替。泵房内安装了手动操作喷水防火系统，泵房内部的管架全部涂以可耐火4小时的耐火材料。

(五)消防设备和训练

因为炼厂位于偏僻地区，曾设置了充分的消防设备，可以处理大部分紧急事故。8.8公斤/厘米²(表)，即125磅/英寸²(表)消防水系统一直维持工艺循环水的压力。听到报警时，一台蒸汽透平泵由循环水凉水塔水池抽水，并立刻将消防水系统升压到8.8公斤/厘米²(表)，即125磅/英寸²(表)。有截止阀保护循环水管线。

当一台由汽油引擎驱动的12气缸消防水泵(从泉水补给湖供水)一投入操作，透平泵立刻停车，以防止循环水系统被抽空。除遍布炼油厂的39个消防栓外，有七台固定喷枪，还有四个消防水龙带站，每站装有两条30.5米(100英尺)长的12.7毫米(1/2英寸)水龙带，随时可以使用。

机动设备包括一台294.9公斤(650磅)的泡沫车，一台454公斤(1000磅)的干粉消防车，以及三个158.8公斤(350磅)和四个68公斤(150磅)的可移动的干粉装置。有60~70台手持灭火器，大多为干粉，也有CO₂。

年训练计划使雇员熟悉消防设备。在炼厂消防训练场上有各种设施，可模拟各种火灾状态，包括架空管线法兰的泄漏，垂直喷射，3.048米×3.048米×228.6毫米(10英尺×10英尺×9英寸)的开口槽子，流动槽和火障。人们使用干粉设备和水雾来扑灭这些火灾。室内训练包括灭火三角原理，也有火灾和爆炸说明及灭火器操作，经常还利用电影。

每个消防队员都了解在紧急情况下他的职责。所有雇员都发给一本叙述灭火器用法和消防队员职责的小册子。册子中还列有紧急电话号码和炼厂紧急集合名单。小册子每年修订出版，保证它总能适合最新情况。最后，还定期举行不宣布的测训。这种测训一直进行到刚要实际应用灭火剂以前为止。

(六)保 险 范 围

财产损失保险包括了构筑物、设备和材料的损失。业务中断保险包括火灾引起的停工期间的业务费用，其中包括营业收入损失。这种性质的保险单可以根据双方同意的总中断时间损失百分率来承保，但通常以实际受到的损失为基准来承保。

这两种形式保险单中，总保险额是以保险单中规定的最高损失为依据，并且以发生事故的第一天起算，或以某一推算期，如120小时(或5天)，内的损失额来换算。

主要的石油保险一般均以实际所受损失额承保。大石油公司通常不以业务中断保险方式承保，因为它们资金雄厚，足以“自行保险”或是有其它原因。独立的炼油厂一般采用业务中断保险，因为它们资金比较薄弱。

由于采用这种保险，没有雇员被临时解雇。1959年10月6日工厂重新投产。