

# 大豆浸出制油工艺安全风险与事故隐患分析

李克靖<sup>1</sup>, 刘毓媛<sup>2</sup>

(1. 东莞市应急管理局, 广东 东莞 523000; 2. 东莞远景安全环保技术咨询有限公司, 广东 东莞 523000)

**摘要:**为有效管控大豆浸出制油工艺的安全风险,消除事故隐患,预防安全事故,对大豆浸出制油工艺安全进行了辨识,对其工艺安全风险进行了评价,同时,梳理了安全风险与事故隐患的关系,并提出了工艺安全生产风险管控措施。大豆浸出制油工艺的安全生产风险较高,主要事故风险为坍塌、火灾、粉尘爆炸,主要风险点的风险等级为较大风险或重大风险。生产企业可通过建立并落实安全生产风险分级管控和安全生产事故排查治理双重预防工作机制,管控工艺安全生产风险,降低安全生产风险等级,减少隐患存量,确保生产装置和作业场所具备安全生产条件,同时可设置大豆粉尘抑爆系统,高温蒸汽泄漏紧急自动切断系统,正己烷、混合油泄漏紧急自动切断系统,提升工艺本质安全系数。

**关键词:**大豆;浸出;安全风险;事故隐患;爆炸特性;风险管控;双重预防

中图分类号:TS228;X93

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2023)08-0069-05

## Analysis of safety risks and hidden dangers regarding to soybean leaching technology

LI Kejing<sup>1</sup>, LIU Yuyuan<sup>2</sup>

(1. Bureau of Emergency Management of Dongguan, Dongguan 523000, Guangdong, China;

2. Dongguan Yuanjing Safety & Environmental Technology Consulting Co., Ltd.,

Dongguan 523000, Guangdong, China)

**Abstract:** In order to effectively control the safety risks during soybean leaching process, eliminate the hidden dangers and prevent safety accidents, the safety of soybean leaching technology was identified, its process safety risk was evaluated, the relationship between the safety production risks and the hidden dangers was sorted out, and control measures of the safety production were put forward. The safety production risk of the soybean leaching process is high. The main accident risks are collapse, fire and dust explosion, and the risk levels of the main risk points are greater risk or major risk. By establishing and implementing a dual prevention mechanism for the grading and control of production safety risks and the investigation and management of production safety accidents, production enterprises can control production safety risks, reduce the level of production safety risks, reduce the stock of hidden hazards, to ensure that production units and workplaces are equipped with safe production conditions. Meanwhile, enterprises can enhance the essential safety coefficient of the process by setting up soybean dust explosion suppression systems, automatic cut-off system of high temperature steam leakage emergency, automatic cut-off system of *n*-hexane and miscella oil leakage emergency.

**Key words:** soybean; leaching; safety risk; hidden danger; explosion characteristics; risk management and control; dual prevention

收稿日期:2022-02-28;修回日期:2023-03-27

**作者简介:**李克靖(1976),男,高级工程师,主要从事工贸行业企业和危险化学品企业安全生产与应急管理等方面的研究(E-mail)1412147960@qq.com。

**通信作者:**刘毓媛,注册安全工程师,一级注册消防工程师(E-mail)1563841552@qq.com。

大豆浸出制油生产过程中会产生可燃性粉尘,同时使用了易燃液体正己烷,具有火灾和爆炸事故风险。实际上,也发生过大豆浸出制油生产安全事故,如:1999年7月19日山东枣庄的一家油脂加工

企业的浸出器发生爆炸,事故导致 5 人死亡,6 人受伤;2006 年 6 月 27 日福建漳州的一家油脂加工企业的浸出车间,维修人员在进入浸出器内更换刮板作业时发生爆炸,事故导致 5 人死亡,3 人受伤;2012 年 1 月广东东莞的一家油脂加工企业的豆皮打包工段发生火灾。因此,辨识安全风险,评定风险等级,排查事故隐患,落实管控措施,对提高大豆浸出制油工艺安全尤为重要。

安全生产风险是指生产经营单位在生产经营活动中可能造成生产安全事故的可能,与随之引发的

人身伤害或者财产损失严重性的组合<sup>[1]</sup>。安全生产风险等级从高到低划分为重大风险、较大风险、一般风险和低风险 4 个级别,分别用红、橙、黄、蓝标识<sup>[2]</sup>。本文从安全生产风险和安全生产事故隐患两方面对大豆浸出制油工艺安全进行分析,并提出安全生产风险管控措施,以期有效管控大豆浸出制油工艺安全风险,及时消除事故隐患,预防生产安全事故。

## 1 大豆浸出制油工艺

大豆浸出制油工艺如图 1 所示。

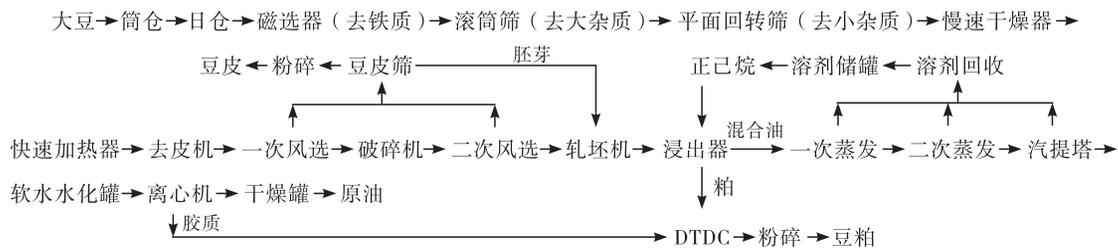


图 1 大豆浸出制油工艺

## 2 风险辨识

### 2.1 安全风险分析

大豆入仓工段涉及卸粮坑口除尘系统、筒仓工作塔、日仓等生产装置。筒仓工作塔的火灾危险为乙类,属于粉尘爆炸危险场所。未安装除尘系统的大豆卸粮坑口 1 m 范围内为粉尘爆炸危险 21 区,21 区往外延伸 3 m 范围属于粉尘爆炸危险 22 区;安装有除尘系统的大豆卸粮坑口 3 m 范围内为粉尘爆炸危险 22 区。大豆卸粮坑、除尘器和筒仓(包括日仓)内部为粉尘爆炸危险 20 区。上述部位均属于粉尘爆炸危险作业环境。进入筒仓、日仓内清理挂壁大豆作业具有坍塌掩埋风险。

豆皮生产涉及大豆预处理车间、豆皮打包、豆皮堆场和豆皮出口除尘系统等作业场所和生产装置,生产的火灾危险性为丙类。未安装除尘系统的豆皮出口 1 m 范围内为粉尘爆炸危险 21 区,21 区往外延伸 3 m 范围属于粉尘爆炸危险 22 区;安装有除尘系统的豆皮出口 3 m 范围内为粉尘爆炸危险 22 区。豆皮生产工艺装置和除尘器内部为粉尘爆炸危险 20 区。上述部位产生大量的可燃性粉尘,均属于粉尘爆炸危险作业环境。

豆粕生产涉及大豆预处理车间、DTDC、粉碎机、豆粕打包、除尘系统、刮板机系统、斗式提升机系统、散装豆粕储存房式仓、袋装豆粕仓库等作业场所和生产装置,生产的火灾危险性为丙类,具有火灾风险。使用的高温蒸汽具有蒸汽泄漏烫伤风险。依照《粮食加工、储运系统粉尘防爆安全规程》<sup>[3]</sup>,豆粕

的打包车间和散装豆粕储存房式仓属于粉尘爆炸危险 21 区。参照《爆炸危险环境电力装置设计规范》,20 区范围主要包括粉尘云连续生产的管道、生产和处理设备的内部区域<sup>[4]</sup>。刮板机系统、斗式提升机系统、磁选器、计量秤、滚筒筛、调质塔、干燥器、破碎机、轧坯机、粉碎机、除尘器及其风管的内部区域均属于粉尘爆炸危险 20 区。这些生产装置的内腔粉尘云连续产生,具有粉尘爆炸风险。预处理车间的设备吊装作业存在物体打击风险。豆粕装车作业存在高处坠落和车辆伤害风险。

油脂浸出和正己烷回收涉及浸出车间和正己烷储罐等作业场所和生产装置,生产的火灾危险性为甲类<sup>[5]</sup>,有易燃有机溶剂、混合油泄漏着火爆炸风险。

综上,大豆浸出制油工艺的安全风险包括触电、火灾、坍塌、物体打击、高处坠落、车辆伤害、高温蒸汽泄漏烫伤、粉尘爆炸、有机溶剂(包括含有机溶剂的混合油)泄漏着火爆炸等。其中主要风险为触电、火灾、蒸汽泄漏、大豆粉尘爆炸、正己烷着火或爆炸。主要的风险点包括筒仓、预处理车间、浸出车间、正己烷储罐、豆粕打包车间、散装豆粕储存房式仓、豆皮堆场、袋装豆粕库和干式除尘系统。

### 2.2 爆炸特性分析

(1)大豆粉尘的最低着火温度为 520℃,粉尘云引燃温度为 500℃,粉尘层引燃温度为 450℃,爆炸的中位粒径为 28 μm,最低爆炸浓度为 35 g/m<sup>3</sup>,爆

炸指数为  $11.7 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$ , 最大爆炸压力为  $0.9 \text{ MPa}$ , 爆炸危险性级别为较高<sup>[6]</sup>。

(2) 正己烷的引燃温度为  $225 \text{ }^\circ\text{C}$ , 沸点为  $68.7 \text{ }^\circ\text{C}$ , 闪点为  $-25.5 \text{ }^\circ\text{C}$ , 爆炸极限(体积分数)为  $1.2\% \sim 6.9\%$ <sup>[7]</sup>。

(3) 大豆浸出制油生产装置相互联通, 粉尘爆炸或正己烷火灾爆炸产生的火焰能从一个区域蔓延至另一个区域。

### 3 风险评价

针对上述风险点及其安全生产风险, 运用作业条件危险性分析法, 评价大豆浸出制油工艺安全风险。作业条件危险性分析法, 简称 LEC 法<sup>[8]</sup>, 其中 L(likelihood) 为事故发生的可能性, E(exposure) 为人员暴露于危险环境中的频繁程度, C(consequence) 为一旦发生事故可能造成的后果。为这 3 种因素的不同等级确定不同的分值, 再以 3 个分值的乘积 D(danger, 危险性) 来评价作业条件危险性的大小。3 种因素的分值分别如表 1~表 3 所示, 风险等级判断如表 4 所示。

表 1 事故发生的可能性

可能性	分值( $S_L$ )
完全可以预料	10
相当可能	6
可能, 但不经常	3
可能性小, 完全意外	1
很不可能, 可以设想	0.5
极不可能	0.2
实际不可能	0.1

表 2 暴露频率(暴露于危险环境的频繁程度)

频繁程度	分值( $S_E$ )
连续处在危险环境中	10
每天在危险环境中工作	6
每周几次	3
每月几次	2
每年几次	1
几年一次出现在危险环境中	0.5

注: 8 h 不离岗为“连续处在危险环境中”; 8 h 内暴露 1 次至几次为“每天在危险环境中工作”

表 3 发生事故可能造成的后果

后果	分值( $S_C$ )
10 人以上死亡	100
3~9 人死亡	40
1~2 人死亡	15
重伤	7
轻伤	3
微伤	1

表 4 风险等级的判断

风险性分值( $S_D$ )	风险程度	风险级别	风险标识	风险等级
>320	极高危险	1	红色	重大风险
(160, 320]	高度危险	2	橙色	较大风险
(70, 160]	中度危险	3	黄色	一般风险
(20, 70]	轻度危险	4	蓝色	低风险
$\leq 20$	稍有危险	5	蓝色	低风险

根据 LEC 法, 对大豆浸出制油工艺主要风险点的风险等级进行评价, 结果见表 5。由表 5 可见, 大豆浸出制油工艺的安全生产风险较高, 主要事故风险为坍塌、火灾、粉尘爆炸, 主要风险点的风险等级为较大风险或重大风险。因此, 要严格管控大豆浸出制油工艺的安全生产风险, 防止安全生产风险演变而引发事故。

表 5 大豆浸出制油工艺风险评价结果

主要风险点	主要事故风险	$S_L$	$S_E$	$S_C$	$S_D$	风险级别	风险标识	风险等级
大豆入仓工段的筒仓、日仓	坍塌、粉尘爆炸	1	6	40	240	2	橙色	较大风险
豆皮工段的压榨车间及豆皮打包场	火灾、粉尘爆炸	1	6	40	240	2	橙色	较大风险
油脂浸出工段的浸出车间和储罐	己烷火灾、爆炸	1	6	40	240	2	橙色	较大风险
正己烷回收工段的浸出车间和储罐	己烷火灾、爆炸	1	6	40	240	2	橙色	较大风险
豆粕工段的豆粕粉碎及打包车间	火灾、粉尘爆炸	0.5	10	40	200	2	橙色	较大风险
豆粕工段涉及的散装豆粕房式仓	火灾、粉尘爆炸	1	6	40	240	2	橙色	较大风险
豆粕工段涉及的袋豆粕仓库	火灾、粉尘爆炸	1	6	40	240	2	橙色	较大风险
豆粕、豆皮和大豆入仓工段除尘系统	火灾、粉尘爆炸	1	10	40	400	1	红色	重大风险

### 4 风险与隐患管理

#### 4.1 安全生产风险与事故隐患的关系

##### (1) 风险是固有的

客观存在的大豆浸出制油工艺的安全生产风险是固有的, 客观存在的, 所以只能针对不同的风险,

采取不同的管控措施进行控制, 防止风险演变。

(2) 风险管控措施是防止风险演变引发事故的屏障

安全生产风险管控措施的失效或缺失, 将会使屏障出现漏洞, 滋生生产安全事故隐患。事故隐患

未得到及时治理、排除,将会使工艺风险点不具备安全生产条件,或者发生违法行为,出现物的不安全状态、人的不安全行为及管理上的缺陷,提高安全生产风险等级,提升大豆浸出制油工艺安全危险性,降低工艺安全性能,进而可能引发生产安全事故。

### (3) 风险演变引发事故具有不可逆性

安全生产风险演变引发生产安全事故是不可逆的。隐患增多,风险提高,发生事故的可能性增大。安全生产风险管控措施的实施也只能防止生产工艺滋生事故隐患,减少隐患存量,降低风险等级,提升工艺安全系数,但不能使工艺安全风险完全消失。

### (4) 事故源于隐患,隐患不除、风险不减、事故难断

隐患是导致事故发生的根源。隐患存量越多,风险等级越高,工艺危险性越大,越容易发生事故。所以应采取有效的安全管控措施,将事故隐患消灭在萌芽状态,防患于未然,确保工艺安全。

## 4.2 前期预防及生产过程中的管控措施

大豆筒仓卸料作业、豆粕和豆皮打包作业期间可能会发生粉尘爆炸。大豆粉尘爆炸必须具备一定的浓度、助燃剂(如氧气)和点火源3个条件。正己烷的最小点火电流为 $75\text{ mA}^{[9]}$ ,手机、电话、手电筒开关时的火花即可成为爆炸、燃烧的点火源。正己烷泄漏着火爆炸必须具备可燃物、助燃剂(如氧气)和点火源3个条件。点火源主要有电气火花,雷击,静电放电火花,电焊、气焊等散发火花,维修动火作业,以及明火等。因此,大豆浸出制油工艺的安全生产风险管控措施应围绕控制点火源,防止大豆粉尘飞扬外逸,防止正己烷、混合油泄漏,预防挂壁大豆坍塌发生掩埋事故展开。具体措施:①工程建设项目阶段应编制安全设施设计专篇,做到安全设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入生产和使用<sup>[10]</sup>。②大豆浸出制油工艺的筒仓工作塔、刮板机、绞龙、斗式提升机系统,豆皮生产工段、豆粕生产工段等涉及粉尘爆炸危险的生产装置和作业环境应采用ⅢB或ⅢC类的粉尘防爆型电气设备及线路。③油脂浸出工段和正己烷回收工段应选用ⅡA、ⅡB或ⅡC类的气体防爆型电气设备及线路。④筒仓顶部盖板应设置必要的泄压设施,泄压面积(A)计算应选用 $0.008\sim 0.010$ 的泄压比(C),按照公式 $A=CV$ 计算确定筒仓顶部的泄压面积。筒仓工作塔和上通廊、大豆预处理车间、豆粕打包车间、散装豆粕房式仓应按照公式 $A=0.3V^{2/3}$ 计算确定泄压面积。油脂浸出车间应按照 $A=1.1V^{2/3}$ 计算确定泄压面积。上面3个公式中,V表示厂房建筑物的容积

或粮食筒仓的容积。⑤大豆浸出制油工艺的供配电系统应选用TN-S型。⑥大豆卸料坑口、豆皮出口、豆粕打包等存有粉尘飞扬外逸的作业场所应设置符合GB 15577—2018《粉尘防爆安全规程》等安全规范要求的除尘系统,并每月定期清理除尘器箱体内部。⑦检维修作业,动火作业,进入筒仓、日仓的清仓作业,以及进入浸出器、正己烷储罐等的有限空间作业等危险作业,应在作业前对作业环境进行评估,分析存在的危险有害因素,提出消除、控制危害的措施,制订作业方案和应急预案,配备相关的应急装备和器材,严格履行作业审批程序,并经安全生产管理人员审核,主要负责人批准。⑧大豆筒仓(包括日仓)、预处理车间、浸出车间、豆粕打包车间、豆皮和豆粕仓库、散装豆粕房式仓库、正己烷储罐,以及刮板机、绞龙、斗式提升机系统等生产装置和厂房(仓库)建筑物均应设置防雷、防静电接地装置并定期检测合格。⑨进入浸出车间的人员应遵守SBJ 04—91《浸出制油工厂防火安全规范》规定,正确穿戴防静电工作服,严禁身穿化纤服进入浸出车间。⑩定期检查并清理磁选器上的铁质杂物,防止铁质杂物进入破碎机、粉碎机产生火花。⑪制订正己烷卸车作业程序,确保卸车作业安全。

## 4.3 提高工艺本质安全措施

### (1) 建立双重预防机制

建立并落实安全生产风险分级管控和生产安全事故排查治理双重预防工作机制<sup>[11]</sup>,健全安全生产风险分级管控体系和生产安全事故排查治理体系,完善安全生产风险分级管控清单,实行厂级、车间级、班组级、岗位4级风险管控,减少隐患存量,降低风险等级,防止风险演变,提高大豆浸出制油工艺本质安全系数。

### (2) 设置大豆粉尘抑爆系统

氮气对大豆粉尘火灾爆炸事故具有惰化窒息作用且不会污染大豆。企业可遵照GB/T 25445—2010《抑制爆炸系统》,参照煤焦化、钢铁、热电企业在煤粉磨制工段设置的氮气抑爆系统,针对筒仓(包括日仓)及其刮板机和斗式提升机系统、豆皮生产工段、豆粕粉碎工段、除尘系统等产生大豆粉尘的生产装置,设置大豆粉尘氮气抑爆系统,将生产装置内部发生粉尘爆炸时的空气含氧量控制在17%以下<sup>[12]</sup>,以抑制大豆粉尘爆炸事故的发生。

在上述工段的关键点设置火花探测器探头,设置氮气注入管道。在总控制室设置火花探测器主机。在厂区内选择合适的位置布设压缩氮气储罐(或液氮罐)。在氮气主管道上安装常闭型电磁阀。

电磁阀的安装位置和数量可根据实际情况优化。在轧坯机和粉碎机的进料口处设置常开型气动闸阀,在气动闸阀的压缩空气管道上安装常闭型电磁阀。当探头检测到火焰时,氮气主管道上的常闭型防爆电磁阀开启,将氮气注入生产装置内,实现装置内的实际含氧量比临界含氧量低 20%<sup>[13]</sup>,即空气含氧量控制在 17% 以下,从而抑制大豆粉尘爆炸事故发生。与轧坯机进料口连接的豆瓣槽上的常开型气动闸阀的供气管道上的常闭型防爆电磁阀和与粉碎机进料口连接的豆粕槽上的常开型气动闸阀的供气管道上的常闭型防爆电磁阀开启,气动闸阀关闭,阻断火焰传向浸出车间。

### (3) 设置高温蒸汽泄漏紧急自动切断系统

将冶金、有色企业在金属熔炉部位设置的红外线测温仪、液位监测报警装置应用到蒸汽管道上。在大豆预处理车间、浸出车间使用高温蒸汽的生产装置的关键部位及水平蒸汽管道上方沿管道方向设置红外线在线测温仪探头,在总控制室设置红外线在线测温仪主机,在室外的主蒸汽管道上设置常开型高温蒸汽电磁阀,利用高温蒸汽自然上升的规律,设置紧急自动切断系统,预防蒸汽管道破裂而引发的高温蒸汽泄漏伤人。当红外线在线测温仪探头检测到大豆预处理车间、浸出车间内使用蒸汽的生产装置或蒸汽管道泄漏时,室外的主蒸汽管道上的常开型高温蒸汽电磁阀关闭,阻止蒸汽泄漏。

### (4) 设置正己烷、混合油泄漏紧急自动切断系统

参照《化工和危险化学品生产经营单位重大生产安全事故隐患判定标准(试行)》<sup>[14]</sup>和 GB 50160—2008《石油化工企业设计防火标准》的相关规定,借鉴石油库和汽车加油站的紧急自动切断系统,在浸出车间现有可燃气体报警装置的基础上,设置正己烷、混合油泄漏紧急自动切断系统。

## 5 结 语

通过分析大豆浸出制油工艺,辨识其生产过程中的主要事故风险及风险源,评价工艺安全风险,研究大豆粉尘、正己烷的火灾和爆炸特性,理清了影响大豆浸出制油工艺的安全风险和事故隐患,理顺了安全生产风险与生产安全事故隐患的关系,弄清了影响工艺安全的主要危险有害因素和风险点危险源。通过建立并落实安全生产风险分级管控和生产安全事故排查治理双重预防工作机制,管控工艺安全生产风险,降低安全生产风险等级,减少隐患存量,确保生产装置和作业场所具备安全生产条件。生产企业可设置大豆粉尘抑爆系统,高温蒸汽泄漏

紧急自动切断系统,正己烷、混合油泄漏紧急自动切断系统,提升工艺本质安全系数,增强大豆浸出制油工艺安全保障。

### 参考文献:

- [1] 尚勇,张勇. 安全生产法释义[M]. 北京:中国法制出版社,2021:139.
- [2] 关于印发广东省应急管理厅关于安全风险分级管控办法(试行)的通知:粤应急规[2019]1号[Z/OL]. (2019-01-23)[2022-02-28]. [http://yjgl.gd.gov.cn/gkmlpt/content/2/2205/post\\_2205809.html#2476](http://yjgl.gd.gov.cn/gkmlpt/content/2/2205/post_2205809.html#2476).
- [3] 粮食加工、储运系统粉尘防爆安全规程:GB 17440—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [4] 爆炸危险环境电力装置设计规范:GB 50058—2014[S]. 北京:中国计划出版社,2014.
- [5] 建筑设计防火规范:GB 50016—2014[S]. 北京:中国计划出版社,2014.
- [6] 关于印发工贸行业重点可燃性粉尘目录(2015版)和工贸行业可燃性粉尘作业场所工艺设施防爆技术指南(试行)的通知:安监总厅管四[2015]84号[Z/OL]. (2015-08-25)[2022-02-28]. [https://www.mem.gov.cn/gk/gwgg/agwzfl/gfxwj/2015/201508/t20150828\\_242906.shtml](https://www.mem.gov.cn/gk/gwgg/agwzfl/gfxwj/2015/201508/t20150828_242906.shtml).
- [7] 压力容器化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类标准:HG/T 20660—2017[S]. 北京:科学技术文献出版社,2017.
- [8] 罗云,徐德蜀,周长江,等. 注册安全工程师手册[M]. 北京:化学工业出版社,2010:143.
- [9] 防止静电事故通用导则:GB 12158—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [10] 建设项目安全设施“三同时”监督管理办法:第36号令[Z/OL]. (2010-12-14)[2022-02-28]. [https://www.mem.gov.cn/gk/gwgg/agwzfl/zjl\\_01/201504/](https://www.mem.gov.cn/gk/gwgg/agwzfl/zjl_01/201504/).
- [11] 中华人民共和国安全生产法[Z/OL]. (2021-09-01)[2022-08-30]. <https://flk.npc.gov.cn/detail2.html?ZmY4MDgxODE3YTY2YjgxNjAxN2E3OTU2YjdkYjBhZDQ%3D>.
- [12] 木材加工系统粉尘防爆安全规范: AQ 4228—2012[S]. 北京:煤炭工业出版社,2012.
- [13] 全国注册安全工程师执业资格考试辅导教材编审委员会. 安全生产技术(2006版)[M]. 北京:中国大百科全书出版社,2006:88.
- [14] 关于印发化工和危险化学品生产经营单位重大生产安全事故隐患判定标准(试行)和烟花爆竹生产经营单位重大生产安全事故隐患判定标准(试行)的通知:安监总管三[2017]121号[Z/OL]. (2017-11-13)[2022-02-28]. [https://www.mem.gov.cn/gk/gwgg/agwzfl/tz\\_01/201711/t20171114\\_235251.shtml](https://www.mem.gov.cn/gk/gwgg/agwzfl/tz_01/201711/t20171114_235251.shtml).