

CPCIF

中国石油和化学工业联合会团体标准

T/CPCIF 00XX—20XX

危险化学品化学爆炸事故技术调查导则

Guidelines for Technical Investigation on Hazardous Chemicals Chemical
Explosion Accident

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国石油和化学工业联合会 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由中国石油和化学工业联合会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：XXXXXXXXXXXXXXXXXX。

本文件主要起草人：XXXXXXXXXXXXXXXXXX。

危险化学品化学爆炸事故技术调查导则

1 范围

本文件规定了危险化学品化学爆炸事故技术调查（以下简称技术调查）工作的术语和定义、一般要求、组织实施、技术调查的一般内容和要求、调查取证装备、事故后果或伤害调查、现场取样采样分析及处理、技术调查报告和结果运用，明确了危险化学品化学爆炸事故技术调查的程序和规范。

本文件适用于危险化学品化学爆炸事故技术调查工作的组织与实施。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 6722—2014 爆破安全规程

GB 13690 化学品分类和危险性公示通则

GB 18218 危险化学品重大危险源辨识

GB/T 29639—2020 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则

XF 839—2009 火灾现场勘验规则

XF/T 1270—2015 火灾事故技术调查工作规则

中华人民共和国国务院令（第493号） 生产安全事故报告和调查处理条例

中华人民共和国国务院令（第591号） 危险化学品安全管理条例

公安部121号令 火灾事故调查规定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 爆炸事故现场 the scene of explosion accident

爆炸事故现场是指发生危险化学品爆炸的建筑场所、人、物以及与事故有关的痕迹、物证等所在的空间或位置。

3.2 爆炸物证 physical evidence for explosion accident

爆炸物证是指能够反映爆炸事故真实情况的一切物品与痕迹，其特点是以物品的外部特征、物质属性以及它所处的位置、现场痕迹，来反映一定的事故事实。

3.3 爆炸事故技术调查 technical investigation of explosion accident

以重建爆炸事故的时间事件链，找出事故引发原因和管理系统中存在的缺陷，明确安全管理体系和安全规程中存在的问题为目的，从爆炸原因入手，综合调查爆炸事故现场情况，采取现场勘验、检测鉴定、模拟实验、询问目击者等方式，收集证据，还原事故发生、发展、演化的过程，查找事故发生、蔓延、失控、造成人员伤亡和损失的原因而开展的技术性调查活动。

4 一般要求

危险化学品爆炸事故技术调查工作应坚持实事求是、尊重科学、恪尽职守、独立客观的原则，任何单位和个人不得妨碍和非法干预技术调查工作。

5 组织实施

5.1 爆炸事故调查组成立技术调查组，技术调查组组长主持技术调查工作，并根据需要邀请应急管理、建审验收、危险化学品安全、爆炸科学、检测检验、消防救援、信息通信、电气仪表等方面专业人员参加。

5.2 事故技术调查由技术调查组组长指挥，参加调查人员分工合作；技术调查组应调阅事故区域相关单位的案卷、资料，查看爆炸事故现场，走访相关单位和人员；可采取实地勘验、现场访问、爆炸物证提取、委托检验鉴定、调查分析、现场实验等手段方法。

6 技术调查的一般内容与要求

6.1 现场调查

1) 应在确认事故现场没有发生二次燃爆、中毒或者其他可能造成调查人员人身伤害的事故可能风险后，方可组织调查人员进入现场实施调查。

2) 现场调查工作应保护事故现场，凡是与事故有关的物体、痕迹、状态，不得破坏。为现场调查需要而移动某些物体时，应作好登记，并作好现场标记。

3) 基于事故现场风险分析，技术调查人员应佩戴安全有效的个体防护装备方可进入事故现场。

6.2 物证搜集

1) 现场的物证包括损坏部件、损坏设备、破片、分散物、残留物、致害物及其他事故痕迹等；在现场搜集的物证，应进行编号，并张贴标志，注明时间、位置等。

2) 所有物证应保持原样，不可冲洗擦拭；对作为证据的物品应采取防止被破坏的保护措施。

6.3 事故背景资料收集

事故背景资料收集的包括但不限于：

1) 事故发生单位、部门情况，事故发生时间、地点等信息；

2) 事故相关人员姓名、性别、年龄、文化程度、职业、技术等级、工龄、本岗位工龄、家庭情况、工资支付情况；事故直接相关人员技术状况，安全教育培训情况与安全记录；事故直接相关人员事故当天开始工作时间、工作内容、工作量、工作程序、操作方式、作业位置等情况；

3) 事故发生的经过，通过询问事故报告人、事故发生单位、周边人员、事故发生时现场人员（含受害人员）及相关人员，调查事故发生的过程，并作详细记录。

6.4 工艺流程与装置设备资料收集

1) 生产工艺流程，工艺设备、设施的性能指标和质量情况，生产中使用的原料、中间品、成品、废品、辅助材料等的名称和数量，事故涉及危险化学品的物理、化学性质、危险有害特性（化学品安全技术说明书）等资料；

2) 事故装置及周边情况，必要时画出简图；

3) 总图、工艺、建筑结构、电气等相关设计图纸、竣工图纸和监理报告等资料，工艺操作规程、规章制度等资料及执行情况，相关设备设施的维护保养、检测、检验记录和报告；；

4) 仪器仪表等计算机数据记录、生产过程中的运行、巡回检查记录和视频监控资料；

5) 现场已采取的安全防护措施及其有效性、质量和保护范围；事故发生前事故相关人员身体健康状况及职业健康档案；

6) 事故应急响应与处置情况；

7) 其他相关记录，如事故相关的工艺或设施的危害分析。

6.5 证人材料收集

1) 事故技术调查组应明确被调查人员的范围（名单），如事故报告人、周边人员、事故发生时现场人员（含受害人员）及相关人员等；

2) 事故技术调查人员应尽快从被调查者中收集事故发生前后信息，被调查者的口述材料应详细记录，并应认真核对其证词的真实性；证词可作为事故调查的参考；

3) 事故技术调查人员应收集事故发生前受害人、疑似肇事者的身体健康状况、心理状况、经济状况等相关信息，查阅计算机数据记录及视频监控资料等，寻找操作过程中的信息、状态，掌握其他与事故致因有关的因素。

6.6 现场影像、图片和图纸的收集

1) 事故后现场爆坑情况、残骸、受损物品、飞散物品、事故发生地、事故原点、事故后现场全貌及周围建(构)筑物、人员、设备等损伤情况等进行录像、拍照，调取事故周边监控录像等信息，并将录像、图片进行编号标注；

2) 相关工艺流程图、图纸材料，自动监控数据、操作记录等信息；

3) 绘制事故现场情况示意图、建(构)筑物、人员、设备等损伤位置图等。

6.7 确定爆炸事故类型和原因

- 1) 危险化学品的化学爆炸类型可按爆炸反应物质分为简单分解爆炸、复杂分解爆炸、爆炸性混合物爆炸;
- 2) 根据事故资料,经科学分析确定爆炸物质和爆炸事故类型;
- 3) 确定事故直接原因和间接原因。

7 调查取证装备

在可能存在燃爆气体、粉尘的环境下进行调查时,应使用防爆电气设备或防爆器材。

7.1 笔录工具

笔录工具主要包括笔记本、笔、录音笔、电脑、存储介质、打印机等。

7.2 照相器材

照相器材主要包括照相机、摄像机、便携式摄录系统、数码微小物证显示仪等。

7.3 测量仪器

测量仪器主要包括卷尺、计时器、光学测距仪、手持数码激光测距仪、壁面超声检测仪、多功能复合气体检测仪、红外线测温仪、多功能环境参数测量仪等。

7.4 照明工具

照明工具主要包括手电筒、照明灯等。

7.5 采样取样工具

采样取样工具主要包括固、液、气样品的采样取样器材。

7.6 现场信息处理工具

现场信息处理工具主要包括数据采集、信息储存与处理设备。

7.7 其他工具

其他工具应根据事故现场具体情况配备,主要包括现场勘验组合工具、移动式图传设备、便携式巡检设备、应急电源、无人机、移动通讯保障设备等。

8 事故后果或伤害调查

8.1 爆炸点

可根据以下一条或者多条判据判定爆炸点的位置。

- 1) 根据事故单位的危险化学品生产、存放、使用地点确定爆炸点位置；
- 2) 根据相关人员的描述与影像资料，确定爆炸点位置；
- 3) 根据爆炸痕迹确定爆炸点的位置。

8.2 热伤害

现场技术调查人员记录爆炸事故的热伤害范围及伤害等级，热伤害等级由专业人员确认。

8.3 冲击波伤害

从爆炸中心区逐步向外收集冲击波对建筑（构）物的破坏情况和人员的伤害情况，建筑（构）物根据已有冲击波超压破坏准则确定爆炸中心周围的冲击波超压值范围(见GB 6722-2014 爆破安全规程)，人员受冲击波伤害情况由专业医师确定。调查结果以简图形式呈现，主要反映冲击波作用的伤害范围及程度。内容包括：爆炸点与目标物（人员，建筑）相对位置，目标物伤害等级，绘制事故冲击波伤害简图。

8.4 破片伤害

从爆炸中心区逐步向外收集爆炸产生的破片及其对人员和建筑（构）物的伤害情况。结果以表格和简图的形式呈现。内容包括：破片编号、破片质量、破片位置、破片总数目及破片形状、绘制破片分布简图。简图主要反映各个破片的分布情况，内容包括爆炸点与破片位置。破片及其对人员和建筑（构）物的伤害等级由专业人员确认。

8.5 成坑

成坑情况主要包括炸坑附近的土地介质、炸坑形状、炸坑深度（最大深度）以及炸坑跨度（最大和最小跨度）等相关数据。

8.6 其他伤害情况

人员窒息及中毒情况。危险化学品的爆炸有可能产生有毒有害气体，需要对人员的中毒及窒息情况进行调查。包括人员窒息、中毒程度及其分布位置。人员窒息及中毒程度由专业医师确定。人员受伤害程度结果以表格形式呈现，人员分布位置情况以平面图的形式呈现。

9 事故现场取样采样分析与处理

9.1 气态物质

1) 对于易燃易爆气体、液体的蒸气、物质受热分解的气体的勘查，当在空气中的浓度较小时，可采用固体吸附剂和液体吸收剂对事故现场残留的气体进行吸附、吸收处理浓缩后进行分析；

2) 空气中的气态物质浓度较高时,可利用真空瓶、气袋等对现场的气态物质进行直接采样后进行分析。

9.2 液态物质

- 1) 对残留在地板(平台)、地沟、泥土等载体上及容器和管道内的液态物质进行采集和勘测;
- 2) 残留在玻璃瓶、塑料瓶、铁罐壁上的残液的采集时,要将容器用适当的溶剂洗刷,采集洗涤液;
- 3) 将采集的液态样品密封于玻璃瓶、塑料袋中保存以防挥发。

9.3 固态物质

- 1) 对微小物证样品的采集要特别谨慎,应戴上口罩,用洁净的小镊子钳取;
- 2) 对现场烟熏痕迹物证的采集,应先拍照固定,必要时以现场制图和现场勘查笔录辅助说明。必须通过分析烟尘成分来确定原来的可燃物种类时,要采集烟尘作为检材;
- 3) 对事故现场固态物质的形状、颜色、质量等进行勘查,在勘查过程中遇到固态化学物质,尤其是固体危险化学品,必须考虑安全风险和样品代表性,避免二次事故。

条款9.1、9.2、9.3三种形态的物质成分的认定应由有检验资质的机构和专业人员给出结论。

9.4 点火源分析

点火源分析包括点火源类别、存在部位、形成条件及表现形式等。

可通过典型点火源分类(见附录B.1)、典型点火源特征要素(见附录B.2,包括点火源存在形式、引燃能力影响因素、能量表征指标、举例)、典型点火源能量分布及引燃可燃物类别(见附录B.3)、静电放电能量及引燃能力(见附录B.4和附录B.5)、可燃气体和蒸气的最小点火能(见附录B.6)进行点火源分析和认定。

9.5 爆炸物质及其数量

首先确定爆炸物质种类。由专业人士对收集到的气、液、固三相物质进行分析,给出危险化学品的种类信息及各成分所占的比例关系。爆炸过程涉及的危险化学品数量可由以下方式确认。

1) 对管理危险化学品使用和储存过程的相关人员进行调查,了解工艺单元或储存单位(库房)的最大储存量,危险化学品实际储存量和储存种类、危险化学品消耗情况(存入、取出、使用),对相关危险化学品的大致储存做出判断。

2) 由热作用情况确定危险化学品的数量。在热作用调查的数据中,提取人员烧伤情况及分布情况信息;利用热毁伤准则完成危险化学品数量反演计算。见附录A.1。

3) 由冲击波作用情况确定危险化学品数量。在冲击波作用调查数据中,提取建筑物受损情况、人员受伤情况、被破坏目标(人、建筑)分布情况;利用冲击波毁伤准则完成危险化学品数量反演计算。见附录A.2。

4) 由破片情况确定危险化学品数量。在破片作用调查数据中,提取破片数量、质量、形状、分布情况;利用破片毁伤准则和破片飞散情况完成危险化学品数量反演计算。附录A.3。

5) 由炸坑情况确定危险化学品数量。在炸坑情况调查数据中,提取炸坑直径、深度信息;利用炸坑形成准则完成危险化学品数量反演计算。附录A.4。

爆炸过程涉及的危险化学品数量可由事故单位危险化学品使用与储存信息、热作用情况确定危险化学品的数量、冲击波作用情况确定危险化学品数量、破片情况确定危险化学品数量、炸坑情况确定危险化学品数量等5方面的情况,由事故调查组技术专家综合分析后给出。

10 事故技术调查报告

10.1 事故技术调查报告内容

- 1) 前言:调查的目的、组织情况、简要过程及主要调查建议,调查组人员组成;
- 2) 事故概况:报警时间、起爆地点、事故单位或场所,爆炸面积、人员伤亡和爆炸损失情况,爆炸原因;
- 3) 技术调查情况:事故单位或场所概况,爆炸发生发展过程,灭火救援及战勤保障情况,单位消防安全管理情况,政府及部门消防监督管理情况等;
- 4) 爆炸成因分析:
 - (1) 引发爆炸的直接原因:包括起火/爆炸原因、爆炸物质和数量等;
 - (2) 爆炸蔓延失控的原因:包括建筑消防设计、消防设施、消防产品、消防安全技术、消防安全管理、消防法规执行等方面的原因和教训;
 - (3) 人员伤亡和财产损失的原因:包括违章违纪、防护不力等;
 - (4) 报警和扑救方面:包括爆炸报警、爆炸初期处置、灭火救援、消防装备使用等方面的原因和教训;
- (5) 公共消防设施建设方面;
- (6) 其他导致爆炸失控、人员伤亡、财产损失的原因和教训。
- 5) 存在的主要问题:报告中有些需要进一步探讨的问题等;
- 6) 工作建议:对法律法规、标准规范、安全技术措施、单位安全管理、政府及部门安全管理、救援及战勤保障、公共安全设施和消防装备、公民安全素质等方面的建议;
- 7) 研究建议:在防火、防爆方面需要进一步研究的工作;
- 8) 附件:有关现场图、照片、记录、图纸、文件、文书复印件及资料等。

10.2 事故技术调查报告签字

事故技术调查报告应经技术调查组全体成员讨论通过并签字。技术调查组成员对具体问题无法形成一致意见时,应在调查报告中对不同意见和理由分别进行说明。

10.3 事故技术调查报告提交时限

事故技术调查组形成事故技术调查报告时限按照中华人民共和国国务院令(第493号)《生产安全事故报告和调查处理条例》执行,情况复杂疑难的,经事故调查组组长同意,可延长。技术调查中需要进行检验、鉴定的,检验、鉴定时间不计入调查期限。

10.4 事故技术调查报告使用

事故技术调查报告属于内部文件，给出的技术性结论、技术问题和建议，可作为事故调查组形成事故调查报告的技术依据，不作为政府和有关部门事故调查和处理的依据，不属于当事人可申请查阅的范围。

11 结果运用

1) 危险化学品爆炸事故调查组织机构可结合技术调查报告提出的问题和建议，部署调查研究或改进工作；

2) 对涉及政府其他部门、机构工作职责范围的，危险化学品爆炸事故调查组织机构可提请同级人民政府批转研究、落实，或函送有关部门、机构，提出工作建议。

附录 A

(资料性附录)

取证内容中四种毁伤情况计算流程解释说明

该部分对取证内容中热作用、冲击波、破片及成坑四类信息中需要借助计算机进行辅助计算的内容进行解释说明。

A.1 热作用情况计算

数据输入有：以爆炸点为中心逐步向外收集到的人员烧伤信息及距离信息，危险化学品种类信息、危险化学品储存量及储存设备设计压力信息，环境温度信息、相对湿度信息及水饱和蒸气压信息。

第一部分是热作用参数的计算，首先要确定爆炸火球尺寸参数。

$$D = \begin{cases} aW^b t^{1/3} & 0 \leq t \leq \frac{1}{3}T \\ aW^b (\frac{T}{3})^{1/3} & t > \frac{1}{3}T \end{cases} \quad (1)$$

$$T = cW^d \quad (2)$$

$$H(t) = \begin{cases} \frac{D(t)}{2} & 0 \leq t \leq \frac{1}{3}T \\ \frac{3D_{\max}t}{2T} & \frac{1}{3}T \leq t \leq T \end{cases} \quad (3)$$

式中， D 为火球直径，m； T 为火球从产生到结束的时间，s； W 为危险化学品质量，kg；令 $D_{\max} = aW^b (T/3)^{1/3}$ ； H 为火球高度，m。

确定火球表面热辐射功率

$$q_s = \begin{cases} \frac{fMH_c}{0.8888\pi D(t)^2 T} & 0 \leq t \leq \frac{1}{3}T \\ \frac{fMH_c}{0.8888\pi D_{\max}^2 T} \left(1 - \frac{t}{T}\right) & \frac{1}{3}T \leq t \leq T \end{cases} \quad (4)$$

式中， M 为危险化学品参与爆炸反应的质量，kg； H_c 为危险化学品燃烧热，kJ/kg； f 为辐射比例系数，计算公式为

$$f = 0.27P_v^{0.32} \quad (5)$$

式中， P_v 为发生爆炸时蒸气云的压力，通常认为是储存容器发生破裂时容器内部力，Pa。

计算大气传输率 τ ，指的是大气介质对热辐射的吸收率

$$\tau = 2.02 \{ RP [\sqrt{H(t)^2 + x^2} - \frac{D(t)}{2}] \}^{-0.09} \quad (6)$$

式中， x 为该地点到爆炸中心的水平距离，m； R 为空气相对湿度； P 为环境水饱和蒸气压，Pa； D 为火球直径，m； H 为火球抬升高度，m。

计算相对空间位置的影响

$$V(t) = \frac{D(t)^2}{4[H(t)^2 + x^2]} \tag{7}$$

式中， H 为火球中心距离地面的高度，m； D 为火球直径，m； x 为该地点到爆炸中心的水平距离，m。

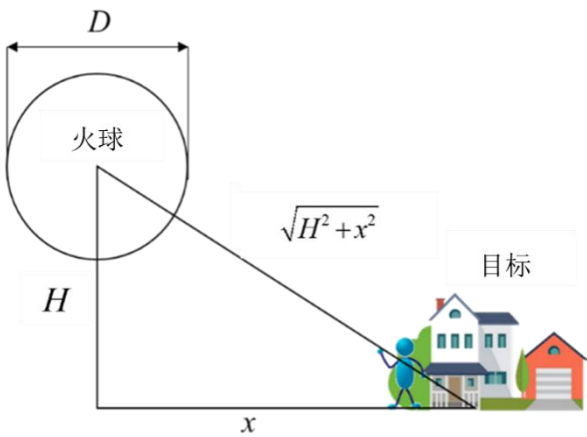


图 A.1 几何视角示意图

计算特定条件下目标接收的热辐射值

$$q(x,t) = q_s(x,t)V(x,t)\tau(x,t) \tag{8}$$

式中， q 为目标处接受的热辐射通量，kW/m²； q_s 为火球表面热辐射通量，kW/m²； τ 为大气透射率，由式(6)确定； V 为视角系数，由式(7)确定。

将式(8)积分在 0~ T 时间段内积分，计算该处的热剂量值 Q_c 。

$$Q_c = \int_0^T q dt \tag{9}$$

得到热剂量理论值后，需要与现场勘查得到的实际热剂量数值作对比。根据热剂量准则，结合事故现场伤亡情况，能得到对应热剂量数值。

第二部分是危险化学品储存量的计算。

表 A.1 热剂量伤害准则

热辐射剂量/(kJ·m ⁻²)	伤害类型	伤害等级
392	死亡	致命
375	三度烧伤	严重
250	二度烧伤	中等
125	一度烧伤	轻等
65	安全	安全

在理论值与实际值误差合理的情况下，通过以下公式获得爆炸事故的 TNT 当量值

$$W_{TNT} = \eta \frac{\Delta H_c W}{Q_{TNT}} \tag{10}$$

式中， η 为能效因子，取值范围在 0.1%到 10%之间，通常取值 4%； ΔH_c 为危险化学品的燃烧热，kJ/kg； Q_{TNT} 为爆热，kJ/kg； W 为参与爆炸反应的危险化学品质量，kg。

爆炸 TNT 当量的求解首先要计算出参与爆炸反应的危险化学品的质量,在模型中求解参与爆炸反应的危险化学品质量的算法可以转化为求解下列方程零根的数学问题,即

$$F(W)=Q_c-Q=\int_0^Tq(W)dt-Q=0 \tag{11}$$

其中 F 是定义在区间 $(0, T)$ 上的连续函数, 其中 $F(a)$ 和 $F(b)$ 具有相反的符号, Q 是来自热辐射危害标准的热辐射强度。根据中值定理, 连续函数 F 必须在区间 (a, b) 中具有至少一个零根, 而这里实际情况有且只有一个零根。在第一步, 将 a 设置为 0 , b 设置为危险化学品储存量的值, 计算区间中点 $W_m=(a+b)/2$ 和该点处的函数 $F(W_m)$ 的值来将该区间分成两个小区间。计算结果包括三种情况: $F(a)$ 和 $F(W_m)$ 反号则根在区间 (a, W_m) 上, $F(b)$ 和 $F(W_m)$ 反号则根在区间 (W_m, b) 上, 或者 W_m 正好为零根。若根在区间 (a, W_m) 上有零根, 则在区间 (a, W_m) 上继续上述过程; 若在区间 (W_m, b) 上有零根, 则在区间 (W_m, b) 上继续上述过程。若 $F(W_m)=0$, 则可以将 W_m 作为解。当区间小到满足计算精度, 程序结束。

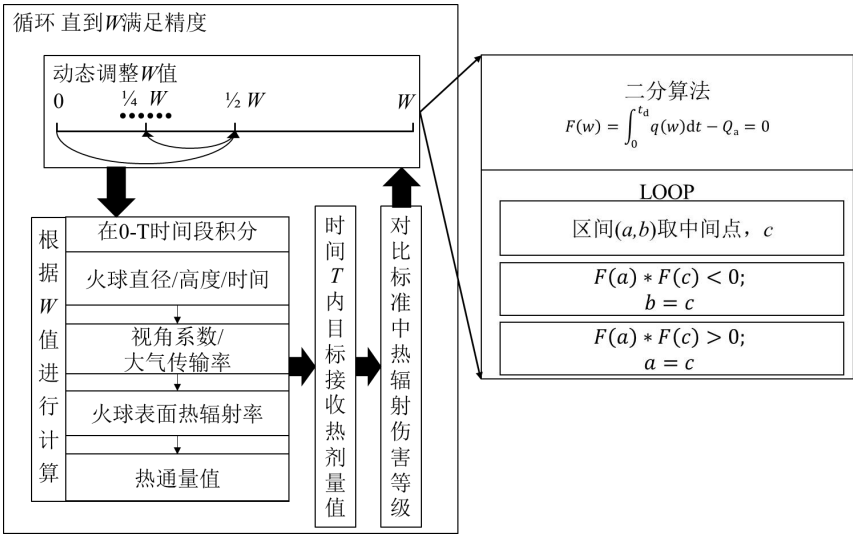


图 A.2 算法流程

A.2 冲击波作用情况计算

数据输入有：人员受冲击波伤害的信息、建筑物受破坏信息及距离信息，危险化学品种类信息、危险化学品储存量信息。

第一部分是冲击波破坏超压峰值计算，冲击波超压公式如下。

1) 冲击波超压峰值估算公式一

$$\Delta p_1 = \frac{0.096}{\bar{r}} + \frac{0.143}{\bar{r}^2} + \frac{0.573}{\bar{r}^3} - 0.0019 \quad 0.0098 \leq \bar{r} \leq 0.98 \tag{12}$$

$$\Delta p_1 = \frac{0.573}{\bar{r}^3} + 0.098 \quad \bar{r} \geq 0.98 \tag{13}$$

式(12)中, $\bar{r} = \frac{r}{\sqrt[3]{w}}$ 称为对比距离, w 、 r 分别表示炸药的 TNT 当量、爆心到测点的距离, 其单位分

别为 kg 和 m, 超压峰值 Δp_1 单位为 MPa。

2) 冲击波超压峰值计算公式二

$$\Delta p_1 = \frac{1.379}{\bar{r}} + \frac{0.543}{\bar{r}^2} - \frac{0.035}{\bar{r}^3} + \frac{0.0006}{\bar{r}^4} \quad 0.05 \leq \bar{r} \leq 0.3 \quad (14)$$

$$\Delta p_1 = \frac{0.607}{\bar{r}} - \frac{0.032}{\bar{r}^2} + \frac{0.209}{\bar{r}^3} \quad 0.3 \leq \bar{r} \leq 1.0 \quad (15)$$

$$\Delta p_1 = \frac{0.065}{\bar{r}} + \frac{0.397}{\bar{r}^2} + \frac{0.322}{\bar{r}^3} \quad 1.0 \leq \bar{r} \leq 10 \quad (16)$$

3) 冲击波超压峰值计算公式三

$$\Delta p_1 = \frac{0.108}{\bar{r}} - \frac{0.114}{\bar{r}^2} + \frac{1.772}{\bar{r}^3} \quad (17)$$

4) 冲击波超压峰值计算公式四

$$\Delta p_1 = \frac{0.082}{\bar{r}} + \frac{0.265}{\bar{r}^2} + \frac{0.686}{\bar{r}^3} \quad 1.0 \leq \bar{r} \leq 15 \quad (18)$$

5) 冲击波超压峰值计算公式五

$$\Delta p_1 = \frac{1.07}{\bar{r}^3} - 0.1 \quad \bar{r} \leq 1.0 \quad (19)$$

$$\Delta p_1 = \frac{0.076}{\bar{r}} + \frac{0.255}{\bar{r}^2} + \frac{0.65}{\bar{r}^3} \quad 1.0 \leq \bar{r} \leq 15 \quad (20)$$

第二部分危险化学品储存量的计算与 A.1 相同。

A.3 破片作用情况计算

数据输入有：破片质量信息、破片距离爆炸中心距离信息、破片数量信息，危险化学品种类信息、危险化学品储存量信息。

第一部分是根据破片参数计算爆炸事故产生的能量，流程如下。

计算空气阻力

$$F = \frac{\rho_a C_D A_D}{2} V_{\text{相对}}^2 \quad (21)$$

基于牛顿定律计算求解破片飞行过程

$$\bar{a} + \frac{\overline{F_{\text{阻}}}}{M} + \frac{F}{M} = 0 \quad (22)$$

式中， $\bar{a}$ 为破片的加速度， m/s^2 ； ρ_a 为大气的密度， kg/m^3 ； C_D 为空气阻尼系数； A_D 为迎风面积， m^2 ； M_f 为破片质量， kg ； $V_{\text{相对}}$ 为破片相对于空气流动的速度， m/s ； K 为阻力系数； $\overline{F_{\text{阻}}}$ 为破片受到的阻力， N ； $\overline{F}$ 为破片受到的重力， N 。

计算破片初速度与爆炸产生的总能量之间的关系

$$v_0 = \sqrt{2E_k / M_f} \quad (23)$$

式中, E_k 为破片初动能, J; M_f 为破片质量, kg。

计算所有破片获得的初始总动能 E_k 与爆炸总能量关系

$$E_k = E \cdot f_k \quad (24)$$

式中, 系数 f_k 服从[0.2 0.5]的右三角分布, 均值为0.3, 数学表达式为:

$$f_k = 0.2 + 0.3\sqrt{1 - rand} \quad (25)$$

计算每块破片获得的初始动能占爆炸产生的总动能的比例 κ 关系:

$$\kappa_i = \frac{m_i^{3/2}}{\sum_{i=1}^N m_i^{3/2}} \quad (26)$$

式中, N 为爆炸产生破片的总数量; m_i 为编号为 i 的破片的质量, kg。

以上步骤能求解事故总能量。

第二部分根据事故能量计算爆炸事故 TNT 当量。

$$W_{\text{TNT}} = \eta \frac{\Delta H_c W}{Q_{\text{TNT}}} \quad (27)$$

A.4 炸坑作用情况计算说明

数据输入有: 炸坑直径、深度、地面地质条件信息, 危险化学品种类信息、危险化学品储存量信息。

该部分能够直接从炸坑参数反演计算危险化学品储存量, 主要依据以下公式。

$$\begin{aligned} G \times \exp \left[-5.2 H (V_0 G)^{-0.33} \right] &= \frac{\left(\frac{R_a}{1.2} \right)^3}{V_0} \\ G \times \exp \left[-5.2 H (V_0 G)^{-0.33} \right] &= \frac{\left(\frac{D_a}{0.5} \right)^3}{V_0} \\ R_a &= 1.2 V_a^{0.33} \\ D_a &= 0.5 V_a^{0.33} \end{aligned} \quad (28)$$

其中, V_a 为炸坑体积, m^3 ; V_0 为地面土体特征参数, m^3/t , 黏土 $V_0=283$, 黏沙土 $V_0=170$, 沙土 $V_0=113$;

G 为 TNT 炸药量, t; H 为爆源离地高度, m; R_a 为炸坑坑口半径, m; D_a 为炸坑深度, m。

除该模型还另外选取了四种炸坑计算模型进行辅助计算。

第一种计算模型

$$W = (\pi / 6) * (D / K)^3 * \rho \quad (29)$$

式中， W 为 TNT 当量，kg； D 为炸坑直径，m； K 为炸坑的介质系数，岩石介质地面取值 7-8，水泥介质地面取值 8-9，土介质地面取值 9-10； ρ 为炸药的密度，g/cm³，一般取值 1-1.5 g/cm³，平均取值 1.3g/m³。

第二种计算模型

$$W = 56.4D^2 - 0.13 * D^3 \tag{30}$$

式中， W 为 TNT 当量，kg； D 为炸坑最大直径，m。

第三种计算模型

$$W = (D / 0.8)^3 \tag{31}$$

式中， W 为 TNT 当量，kg； D 为炸坑直径，m。

第四种计算模型由提出

$$W = (D / 0.42)^3 \tag{32}$$

式中， W 为 TNT 当量，kg； D 为炸坑直径，m。

式（28）考虑了地面介质的影响参数，准确性较高，因而，炸坑反演计算模型算法框架主要根据该模型，其他四种计算模型作为参考。

附录 B

（资料性附录）

典型点火源的分类、特征要素、能量分布及引燃可燃物类别

B.1 典型点火源分类

在危险化学品生产、储存、使用等过程中，造成爆炸事故的点火源有热点火源、电点火源、机械点火源、化学点火源、波类点火源、烟火点火源、其他点火源（见表 B.1）。

表 B.1 点火源分类

序号	项别	类别	备注
1	热点火源 （高温、热辐射为主）	1.1 明火	<10 000J
		1.2 吸烟	
		1.3 切割、焊接等动火作业	ANSI Z49.1 API RP 2009 NFPA 51B
		1.4 热表面，散热器、干燥器、加热线圈等	<10 000J 碳氢气体，182℃+ T_{ign} API RP 2216

序号	项别	类别	备注
		1.5 热气体、热颗粒	
		1.6 烤箱、火炉火加热设备	
2	电点火源 (电弧、电荷放电, 热效应、能量释放)	2.1 电火花 高压放电 (7.7%-14.1% E)、低压放电 (≤30%E) 及辉光放电	<10J
		2.2 静电, 如传播型刷形放电、人体静电、堆积刷形放电、刷型放电等	通常<10mJ, 堆积刷形放电小于 25mJ(CCPS 1999, NFPA 77)
		2.3 杂散电流	
		2.4 雷电	NFPA 780, API RP 545
3	机械点火源 (非电气火花)	3.1 落锤式机械火花	钛材质低于 15J
		3.2 摩擦式机械火花	飞溅颗粒 1%E
		3.3 高速冲击式机械火花点	33%E
		3.5 绝热压缩, 压缩比	升温
4	化学点火源 (自身起火或阴燃)	4.1 自热引燃, 自热温度 T/诱导时间 t	<100J
		4.2 发火物质引燃	
		4.3 催化物质, 不稳定物质引燃	
5	波类点火源 (射频能量, 光辐射、热辐射、激光辐射、电离辐射等)	5.1 冲击波	
		5.2 电磁波, 如灯管、电弧、激光等	
		5.3 超声波	升温
		5.4 激光波	TNT 当量
6	烟火材料点火源 (特殊类化学点火源)	6.1 黑火药引燃	
		6.2 烟火药引燃	
		6.3 引火线等物品	
7	其他点火源	不属于前 6 项的其他点火源。	

注: E 为该点火源释放总能量。

B.2 典型点火源特征要素

从点火源存在形式、引燃能力影响因素、能量表征指标、举例等方面形成典型点火源特征要素 (见表 B.2)。

表 B.1 典型点火源特征要素

点火源类别	引燃形式	引燃能力影响因素	能量表征指标	典型实例
1.1 明火/火焰 1.5 热气体、热颗粒	≥1000℃ 燃烧火焰、热气体、炽热固体颗粒	温度 表面积、形状	温度、能量; 火焰高度、蔓延速度及形状、辐射热等	明火、燃烧产物、动火作业 (焊接或切割、切割等)、反应热气体、内燃机排气管, 红热物体 (如烟头等)
1.4 热表面	本身辐射热 接触引燃 覆盖可燃物引燃	温度、表面积、尺寸和形状、临近表面可燃物浓度梯度、	温度 辐射热	散热器、干燥箱、炉子外壁、加热线圈、机械热表面 (摩擦离合器、

点火源类别	引燃形式	引燃能力影响因素	能量表征指标	典型实例
		热表面材质、接触时间		制动器, 轴承、轴通道、密封压盖等活动部件) 等
2.1 电火花	电路短路、过载; 开关断开或闭合 连接松动; 导电体触及	电压、电流、持续时间	能量、火焰	电火花、电弧
2.2 静电	火花放电 刷形放电 传播型刷形放电 料堆放电 云状放电 人体静电	能量大小	能量、火花形状	布袋除尘器火花放电
2.3 杂散电流、阴极 腐蚀	回流电路 故障短路或对地短路 磁感应 雷电 地面架空线感应 外加电流阴极腐蚀	电压、电流、持续时间	能量	电火花、电弧
2.4 雷电	感应雷、直击雷 热效应、力效应和电效应	持续时间 接触面积 雷暴发生频率	能量 温度	雷击火花导致罐区火灾爆炸
3 机械火花 (摩擦、碰撞、冲击)	摩擦 冲击或研磨 碰撞	温度、颗粒类型、接触面积或时间	温度、能量; 火花束	颗粒火花, 黑色金属, 陶瓷, 铁锈和轻金属, 钛、锆等轻金属撞击或摩擦
3.5 绝热压缩	压缩升温	压缩比	温度 燃点	内燃机压燃点火
4 自热物质, 放热 反应, 包括粉尘自燃	堆积储存、遇水潮湿等 触发 自身起火或阴燃	体积/表面比 环境温度 滞留时间 散热速度	温度、能量	白磷、超细金属粉; 碱金属遇水反应; 有机过氧化物分解; 煤、粮食或食品自热(包括在生化作用下)
5.1 冲击波	引爆、碰撞 殉爆等	压缩比 温度	温度、爆炸热 冲压、超压、冲量、压力波	硝酸铵爆炸引爆周邻可燃物
5.2 电磁波 $10^4\text{Hz}\sim 3\times 10^{12}\text{Hz}$ 射频 (RF)	辐射引燃	辐射区功率 接收天线 温度 电场强度 E	辐射强度 能量、温度 频率 电磁波谱	无线电发生器、工业或医疗射频发生器

点火源类别	引燃形式	引燃能力影响因素	能量表征指标	典型实例
		磁场强度 H		
5.2 电磁波 $3\times10^{11}\text{Hz}$ $\sim3\times10^{15}\text{Hz}$	光辐射引燃	距离 聚焦程度 可燃物类型 电场强度 E 磁场强度 H	能量、温度 功率密度 频率 电磁波谱	激光辐射
5.2 电离辐射	吸收辐射能 化学分解或反映	辐射能 波长短 频率高 能量高	温度、能量 波长、频率	X 射线管、放射性物质等 α 射线、 β 射线 X 射线和 γ 射线
5.4 超声波	固体或液态物质吸收		温度、热量	电声换能器
6 烟火材料	直接点燃 高温引燃	烟火类型和数量	火焰、温度 能量	黑火药、烟火药等
7 其他点火源				

B.3 典型点火源能量分布及引燃可燃物类别

典型点火源能量分布及引燃可燃物类别见表 B.3。

表 B.3 点火源能量分布与引燃可燃物类别

点火能 (mJ)	典型点火源类型	引燃可燃物质类别	引燃典型可燃物举例
100~1000	火焰、化学反应引火源、传播刷形放电	粗粉尘、液滴、非常不敏感气体等	甲叉二氯，二氯甲烷 氨
10~100	堆积刷形放电、人体静电	200 目以下粉尘、典型液滴、不敏感气体	石松子
1.0~10	刷型放电，小容器（50L）放电 2mJ	敏感性粉尘、细的液滴、某些气体	丙酮、乙酸乙醇
0.1~1.0	机械火花、静电火花、未接地导体、微小热源	一般气体、非常敏感粉尘、非常细小的液滴	甲烷、甲醇
0.01~0.1	衣服静电、电晕放电、微弱的射频	敏感气体、富氧状态	乙烯、氢

B.4 不同静电放电能量与引燃能力

对于静电火花，常见的放电形式包括：1）电晕，来自尖形的或小圆球形导体；2）刷形，来自散装粉末或固体绝缘颗粒；3）锥形，来自高绝缘颗粒；4）传播型刷形，来自极化的绝缘表面；5）火花。不同放电形式的能量分布和引燃能力如表 B.4 所示。

表 B.4 不同静电放电能量与引燃能力

静电放电形式	最小点燃能量/mJ	引燃能力
电晕	0.02 以下	除火炸药外的粉尘云
刷形	4 以下	异态混合物和高敏感粉尘
锥形	随材料体积而增大	易燃烧粉尘
传播型刷形	通常数焦以下	燃易燃烧粉尘
火花	无限值	任何可燃性粉尘

B.5 不同静电放点火花的相当能量、有效点燃能量、可燃物的最小静电点火能量

静电放电火花的相当能量 E_{eq} ，静电放电火花的有效点燃能量 E_{ef} ，一定条件下可燃物的最小静电点火能量 E_{ig} ，见表 B.5。

表 B.5 不同静电放电形式的能量分布与引燃能力

放电类型	放电火花引燃能力		
	静电放电火花的 放电相当能量 E_{eq}/mJ	静电放电火花的 有效点燃能量 E_{ef}/mJ	能点燃可燃物最小点火能 E_{ig} 范围
电晕放电	≤ 0.025	≤ 0.025	危险性较小，仅能够引燃 $E_{ig} \leq 0.025mJ$ 的可燃气体、含能混合物
刷形放电	≤ 30	≤ 3	可燃气体、可燃液体蒸气， $E_{ig} \leq 3mJ$ 的可燃粉尘及其杂混合物
料仓堆表面放电	$\leq 9 \times 10^3$	≤ 10	可燃气体、可燃液体蒸气， $E_{ig} \leq 10mJ$ 的可燃粉尘及其杂混合物
人体放电	≤ 30	≤ 30	可燃气体、可燃液体蒸气， $E_{ig} \leq 30mJ$ 的可燃粉尘及其杂混合物
电气火花放电	$\leq 10^3$	$\leq 10^3$	可燃气体、可燃液体蒸气， $E_{ig} \leq 1000mJ$ 的可燃粉尘及其杂混合物
传播型刷形放电	$\leq 9 \times 10^5$	$\leq 10^4$	所有可燃气体、可燃液体蒸气，以及可燃粉尘及其杂混合物

B.6 部分可燃气体和蒸气在空气中的最小点火能量

部分可燃气体和蒸气在空气中的最小点火能量见表 B.6。

表 B.6 部分可燃气体和蒸气在空气中的最小点火能量

物质名称	最小点火能量/mJ	物质名称	最小点火能量/mJ
乙烷	0.285	丁酮	0.68
丙烷	0.305	丙酮	1.15
甲烷	0.47	乙酸乙醇	1.42

庚烷	0.70	甲醚	0.33
乙炔	0.02	乙醚	0.49
乙烯	0.096	异丙醚	1.14
丙炔	0.152	三乙胺	0.75
丁二烯	0.175	乙胺	2.4
氯丙烷	1.08	呋喃	0.225
甲醇	0.215	苯	0.55
丙烯	0.282	环氧乙烷	0.087
异丙醇	0.65	二硫化碳	0.015
乙醛	0.325	氢	0.02

制定《危险化学品爆炸事故技术调查导则》中国石油和化学工业联合会 (CPCIF) 团体标准

编制说明（征求意见稿）

一、任务来源

根据中国石油和化学工业联合会中石化联质发[2020]28号《关于印发2020年第一批石化联合会团体标准项目计划的通知》的要求，在2020年完成《危险化学品爆炸事故调查与取证技术规范》团体标准的制定工作，2021年6月4日起草组审定为《危险化学品爆炸事故技术调查导则》。本标准是由中国石油和化学工业联合会提出，中国石油和化学工业联合会标准化工作委员会归口。标准由北京理工大学起草。

二、目的、意义

危险化学品爆炸事故技术调查工作是生产安全事故的态势需要。从我国目前的整体发展来看，经济正在呈快速增长的趋势，在一定程度上也给很多区域带来了更多的安全隐患。据不完全统计，2013年至2018年，与危险化学品相关的事故总数达到10345起（其中特别重大事故8起，重大事故12起），死亡人数达3446人，重伤2015人，轻伤10356人；其中燃烧与爆炸类的事故数量超过半数，且呈现了逐年上升的趋势，最为典型的特别重大事故有天津港“8.12”事故，昆山“8.2”事故等，加上2019年3月21日发生的响水爆炸事故，仅三起事故就造成了直接经济损失92亿元人民币、人员死亡340人的严重后果，社会影响十分恶劣。为了遏制此类事故的发生，保证社会持续健康发展，安抚民心及稳定社会舆论，必须找到危险化学品爆炸事故原因，包括点火源、危险物质种类及其数量、危险物质燃爆特性及其燃爆过程等；因此，事故调查工作显得尤其重要。目前事故调查工作存在主要问题是：缺乏科学的技术性指导标准或准则，而在国家标准层面，我国《生产安全事故报告和调查处理条例》主要对调查组形成、调查组权力与职责、事故调查基本工作方法及事故调查处理的批复结案四个方面做了规定，较为宏观，对于事故调查的技术细节所做规定较少，特别是在危险化学品燃爆事故调查与取证的技术方面，相关标准几乎是空白，因此，制订相应标准已成为目前十分迫切的现实需求。

危险化学品爆炸事故技术调查工作的技术要求。爆炸事故调查工作的意义在于，总结工程技术、生产工艺、安全管理方面经验教训，以便于采取安全对策措施，从源头上预防事故发生，提高整个行业安全水平；是一项涉及现场处理、物证收集分析、事故性质判定的，具有难度大、技术性高等特点的综合性工作。该工作中，物证收集分析及事故原因判定越来越需要多学科背景的工作人员共

同参与；而科学规范的工作流程及技术标准的制定，能够划清各部分工作职责及范围、梳理各种工作内容的逻辑关系，从宏观与细节层面为事故调查工作的顺利开展提供指导。

危险化学品爆炸事故技术调查工作是新时代全球化要求。美国、英国及日本等国的事故调查体系处于世界领先的水平，其事故调查相关经验值得我们学习。但总体而言，国外事故相关标准其主要内容还是事故调查工作程序规定，调查人员组成及职责划分，属于行政事务性规定的内容占比较大，而对于事故调查技术细节的规定较少，这与事故本身种类多、过程复杂的特点有关，没有哪种标准能适应于所有类型的事故调查工作；加之事故调查工作是一项需要多学科知识交叉的系统性工程，其针对性越强，适用性就越高，因此编写特定领域事故调查技术性标准成为目前较为流行的趋势。

三、制定该标准的可行性

在事故调查领域，特别是危险化学品爆炸事故调查方面，爆炸科学与技术国家重点实验室（北京理工大学）的技术团队拥有多年一线实地调查经验。团队负责人钱新明教授，历任危险化学品事故与边坡灾害预防与控制工信部重点实验室主任、应急管理部爆炸物检验检测和爆炸物证分析平台负责人，多次支持/参与国内重特大爆炸事故的技术调查，具有代表性是参与了天津港“8.12”特别重大爆炸事故，钱新明教授通过现场勘查，综合分析爆炸破坏毁伤后果信息，为调查工作顺利开展做出了突出贡献，其工作受到了国务院高度肯定；此外较为典型的还有江苏响水“3.21”爆炸事故，钱新明教授同样临危受命，亲赴现场参与一线事故调查工作。钱新明教授在多年事故调查工作中，积累了大量事故调查经验，深谙事故调查工作的各种技术环节及要点，团队中黄平副教授、刘振翼副教授也曾多次参加危险化学品燃爆事故的事故调查工作，如北京“1.25”与“4.12”天然气泄漏爆炸事故等，在危险化学品防火防爆及事故调查领域研究多年，拥有丰富精深的专业知识；且在“十三五”期间，该团队负责或参与的国家重点研发计划项目《典型危险化学品爆炸机理及事故防控关键技术研究及示范》，从国家层面对危险化学品爆炸事故的机理作了全面及系统的研究，这对爆炸事故的调查具有重大意义。由此可见，钱新明团队能够为保证危险化学品燃爆事故调查国家标准的顺利制定提供强大的专业支撑。

四、国外现状

国外事故调查体系相对健全的国家是美国与英国。早期事故调查起源于交通运输业，1967年美国国家运输安全委员会（National Transport Safety Board, NTSB）的成立被认为是独立调查机构的开端。在事故调查领域，美国的事故调查体系最为先进也最为完善：针对一般职业事故调查，美国设置有职业安全与健康管理局（Occupational Safety and Health Administration, OSHA）；针对矿山事故调查，美国设有矿山安全与健康管理局（Mine Safety and Health Administration, MSHA）；

针对化学事故，美国设有化工安全与危害调查委员会^[4]（Chemical Safety and Hazard Investigation Board, CSB）。以 CSB 事故调查体系为例，该委员会由五个独立委员组成，每个委员都由总统提名，国会批准，每个委员任期 5 年，以确保 CSB 不隶属于任何行政分支，保证其在单个事故调查中的独立性；同时，CSB 在选择对哪个事故进行深入调查方面有自由选择权。只要 CSB 认定某件事故的调查可以为提高化工安全方面提出好的建议，调查就可以进行。而且调查的范围不受法规规定范围的限制，这意味着调查不仅仅会涉及法规要求的装置、人员、操作，也会涉及法规没有强制规定的管理体系、沟通渠道、法规设计，甚至深入到企业文化与组织架构等方面。

英国主要设有职业安全卫生执行局（Health and Safety Executive, HSE），其中其下属危险设施处主要从事于危险化学品事故调查及风险管控的相关工作。HSE 编制的《Major Incident Response and Investigation & Major Incident Policy and Procedure Review》对事故调查流程进行了非常详细的规范，其规定事故的调查程序主要分为六个阶段：第一阶段为接警阶段，该阶段主要目的为对事故等级的判定；第二阶段为确定事故信息阶段，该阶段主要工作内容为形成并发布事故信息简报；第三、四阶段为初始相应阶段与调查管理阶段，这两个阶段的主要工作内容为协调事故调查工作小组的成立；第五阶段为事故调查阶段，实施一线事故调查工作；第六阶段为编写与发布事故调查报告。每个阶段都有详细的步骤安排，对应步骤还指定对应的主要负责人，并有相应的工作考核标准及时限要求。

总体而言，国外特别是发达国家事故调查具有以下特点：独立性，主要分为组织机构独立、经济财务独立及职能独立；公开性，调查信息的公开有利于取得公众信任、事故调查的开展，最终有利于提高全体国民的安全意识；非责任性，国际民航组织认为，事故调查的唯一目的是找出事故发生的可能原因，以防止类似事故再次发生，而不是为了认定或归咎责任；有效性，事故调查结束后，要向有关部门、企业、职工等提出十分详细且针对性强的安全建议；客观性，国外事故调查工作十分看重事实情况，对于事故原因描述十分谨慎，由于现有科学技术水平可能不足以明确地定出原因，某些事故原因含混不清及证据不确凿的应该如实记录。这些思想都对危险化学品事故调查准则的编写具有很强的指导意义。

五、编制过程

1 危险化学品爆炸事故技术调查导则的内容和流程

通常情况下一旦发生危险化学品火灾爆炸事故，现场通常一片狼藉，如何从有限的现场残留物以及爆炸痕迹中分析出事故信息是有一定的难度的。而且，目前国内尚没有系统地研究危险化学品燃爆事故的综合效应，分析事故的后效技术。一般事故调查都是围绕危险化学品燃爆事故成因，准

确、及时查找事故原因，确定爆炸物的种类和当量，并为生产经营活动的恢复提出同一类爆炸事故的防范与控制建议。

事故调查人员依据经验探讨爆炸事故原因调查方法，从所需材料、调查内容、指挥机构、调查笔录、现场绘图个方面开展调查；针对爆炸事故调查的主要内容，了解人员伤亡状况以及厂房、机器、设备之类破坏情况。此外，对于周围建筑、居民区等受害情况，要弄清楚是首次爆炸破坏造成的，还是随后二次爆炸或火灾造成的后果。其次，要确定爆炸物的种类，以确定是气体爆炸，还是液体爆炸或者粉尘爆炸，抑或是固体物爆炸。最后要查明点火源情况。此外，还要调查爆炸发生的时间。对危险化学品火灾爆炸事故，调查工作的基本程序和方法包括各种物证的采集、提取、分析检验。对压力容器进行爆炸火灾调查，压力容器的技术鉴定是事故调查非常重要的一个内容，主要包括化学成分分析、断口分析、金相分析、无损检测等，要从容器断裂形式、断裂时载荷状态、破坏形貌、破坏能量等方面入手，准确判定失效原因。按发生燃爆事故的物质的种类，将火灾爆炸事故分为三类：固体爆炸火灾、泄漏气体爆炸火灾、容器爆炸火灾，石油化工业常见的爆炸火灾为后两种，需要从爆炸发生的原因、现场特点、现场勘查重点、调查访问重点等方面，对不同类型的爆炸火灾事故调查进行分析。对化工火灾事故的特点进行分析，运用假设推理方法调查事故，并对事故调查中的证据进行重点分析。可以以爆炸产生的痕迹数据为基础，采用数据驱动的前沿技术（广义神经网络 GRNN、粒子群 PSO、支持向量机 SVM、以及非线性非稳态信号分析算法 HHT/EMD）建立基于爆炸现场痕迹反演爆源参数的方法。也可采用数值模拟的方法，对事故发生情况进行还原，得到爆炸当量以及事故原点，提出一种基于危险化学品燃爆毁伤后果方式的燃爆事故反演理论，解决事故的爆炸当量。

综上，危险化学品事故技术调查工作流程可概括表示为图 1 所示。

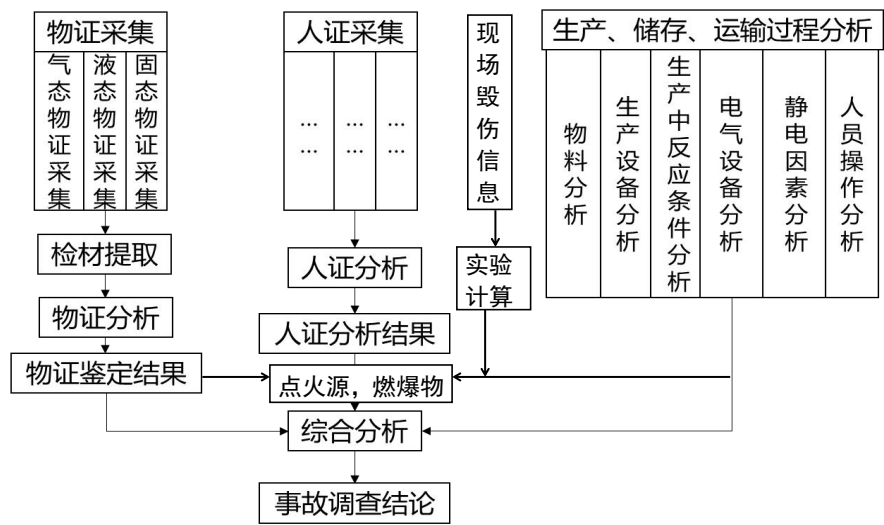


图 1 危险化学品爆炸事故技术调查工作流程

2 制定标准调研阶段

中国石油和化学工业联合会中石化联质发[2020]28号《关于印发2020年第一批石化联合会团体标准项目计划的通知》的要求，标准起草小组广泛征集意见，研究了危险化学品爆炸事故调查与取证技术要求等相关资料，并向相关单位发函，了解对制定《危险化学品爆炸事故调查与取证技术规范》团体标准的建议及生产、使用情况。在此基础上，初步拟定了《危险化学品爆炸事故调查与取证技术规范》团体标准的总体架构。

3 制定标准工作方案阶段

2020年4月在北京理工大学召开了制定《危险化学品爆炸事故调查与取证技术规范》团体标准工作方案会，与会专家学者经过讨论，初步确定了该技术规范的技术内容，根据讨论结果，标准起草工作小组提出了工作方案及工作进度。

4 制定标准起草阶段

工作方案会后，标准起草小组确定了《危险化学品爆炸事故调查与取证技术规范》团体标准主要内容。2021年6月，标准起草小组召开的标准工作组讨论会，会上根据标准内容将标准名称修订为《危险化学品爆炸事故技术调查导则》，并在此讨论的基础上对标准内容进行修改，提出标准征求意见稿。

六、标准编制原则

本标准的制定参照了国内外危险化学品爆炸事故调查报告的相关资料，同时参考国内GA 839—2009 火灾现场勘验规则、GA/T 1270—2015 火灾事故技术调查工作规则、《火炸药及其制品爆炸事故调查与规范》、十三五国家重点研发计划项目的相关成果，充分考虑国内相关的法规、标准要求，结合国内企业的实际情况，以确保标准的科学性、先进性、可操作性。

1. 标准要具有科学性、先进性和可操作性；科学性是指该标准提出的内容应有充分依据，有利于提高事故调查的准确性；先进性是该标准要尽可能采用一些新的研究成果；可操作性是指该标准不能脱离我国国情，使得事故调查和取证能够切实进行。

2. 与相关标准法规协调一致；与现有的相关标准，包括安全生产法、安全管理法规等相一致。

3. 促进危险化学品爆炸事故调查与取证工作应坚持实事求是、尊重科学、独立客观的原则。

七、主要条款的说明

危险化学品爆炸事故调查与取证技术规范包括范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、组织实施、调查与取证的一般内容、调查与取证的装备、调查与取证的技术性内容认定、事故现场信息分析与处理、技术性报告及其运用等。

1 范围

本标准适用于危险化学品化学爆炸事故技术调查工作的组织与实施，为事故调查报告提供技术性支持。

2 规范性引用文件

说明了在本标准制定中引用的标准和其他参考文件。凡是注日期的引用文件，以该具体日期文件为准，凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

3 术语和定义

引入了爆炸事故现场、爆炸物证、爆炸事故调查及取证等 3 个术语和定义，以区分于其他事故调查。

4 一般要求

提出危险化学品爆炸事故调查与取证工作应坚持实事求是、尊重科学、独立客观的原则，遵循燃烧及爆炸科学理论和发展规律。

危险化学品爆炸事故调查与取证工作鼓励采取计算机模拟等技术。

5 组织与实施

提出成立危险化学品爆炸事故调查组及其成员范围，该条款参照了中华人民共和国国务院令（第 493 号）：《生产安全事故报告和调查处理条例》。

6 调查与取证的一般内容

6.1 现场处理。坚持事故发生后，应及时救护受伤害者，采取措施防止事故扩大；认真保护事故现场，凡是与事故有关的物体、痕迹、状态，不得破坏。为抢救伤员而移动某些物体时，应作好登记，并作好现场标记。本条款是为无证采集做好准备。

6.2 物证搜集。爆炸事故现场的物证主要包括损坏部件、损坏设备、破片、碎片、分散物、残留物、致害物等。在现场搜集的物证，应进行编号，并张贴标志，注明时间、位置等；所有物证应保持原样，不可冲洗擦拭。对作为证据的物品应采取防止其破坏的保护措施。本条款为事故的科学推演提供基础数据。

6.3 事故背景资料搜集。事故背景资料的主要包括：应收集发生事故的单位、部门情况，掌握事故发生时间、地点等信息；核实受害人和事故肇事者的信息，了解受害人和事故肇事者的技术状况，参加安全教育培训情况以及他们过去的事故的记录，了解发生事故当天受害人和事故肇事者开始工作时间、工作内容、工作量、工作程序、操作方式、作业位置等情况。本条款为认定事故性质提供信息。

6.4 事故发生的过程及相关资料搜集。事故发生的过程及相关资料主要内容包括：应了解生产工艺流程，了解工艺设备、设施的性能指标和质量情况，生产中使用的原料、中间品、成品、废品、辅助材料等的名称和数量，以及其各自的物理、化学性质、危险有害特性导尿管资料；查阅工艺、

总图、建筑结构、电气等相关设计图纸、竣工图纸和监理报告等资料，查阅工艺操作规程、规章制度等资料及执行情况；掌握现场已采取的安全防护措施,及其有效性、质量和保护范围，了解事故发生前受害人和肇事者的身体健康状况；查阅计算机数据记录及视频监控资料等寻找操作过程中的违反规程的操作、状态,掌握其他与事故致因有关的因素。本条款为认定事故类型、事故性质、事故原因、调查报告中的措施建议提供信息

6.5 证人材料搜集。证人材料的主要内容包括：事故发生后，应尽快从被调查者处搜集事故前后信息，对被调查者的口述材料，作详细记录，并应认真核对其证词的真实程度，证词只作为参考，最终还是以事实为依据，以规范标准为准绳；了解事故发生前受害人和肇事者的身体健康状况，查阅计算机数据记录及视频监控资料等，寻找操作过程中的信息、状态，掌握其他与事故致因有关的因素。本条款为调查报告中的事故责任提供信息。

6.6 现场影像、图片和图纸的搜集。现场影像、图片和图纸的主要内容包括：应对事故后现场的残骸、受损物品、飞散物品、事故发生地、事故原点、事故后现场全貌及周围建(构)筑物、人员、设备等损伤情况进行录像、拍照，调取事故周边监控录像等信息，并将录像、图片进行编号标注；搜集相关工艺流程图、图纸材料，对事故现场情况绘制示意图、建(构)筑物、人员、设备等损伤位置图。本条款为事故的科学推演提供基础数据。

6.7 分析事故原因、判定事故的类型和性质。分析事故原因、判定事故的类型和性质的主要内容包括：根据已经搜集到的各方面材料,经调查组分析讨论，最终确定事故的原因,包括直接原因和间接原因；最后根据事故原因的分析，确定这起事故性质是责任事故还是非责任事故。本条款为事故调查报告提供技术依据。

7 调查与取证的装备

提出对事故现场调查和勘查过程中，需要的物质、数据、图像等信息进行采集时应具有的工具、设备等。本条款部分参照了 XF 839—2009 火灾现场勘验规则、XF/T 1270—2015 火灾事故技术调查工作规则。取证装备的用途见下表。

装备类别	用途
笔录工具，笔记本、笔、录音笔等	用于记录调查时证人的证词和发现的每一个细节，并应及时整理成电子文档资料。
照相器材，照相机、摄像机、便携式摄录系统、数码微小物证显示仪等	用于保存其他工具无法保存的数据,主要是图像、视频材料。对于爆炸事故，事故调查人员可以通过照片、视频更直观、更清楚地记录事故发生后，爆坑情况、设备损坏情况、周围建（构）筑物损坏情况等。

参数测量仪器，卷尺、光学测距仪、手持数码激光测距仪等	用于测出爆坑的尺寸,计算爆炸的药量;也可以通过测距仪器测出被损坏目标与爆炸原点的距离关系，统计爆炸的损失情况；也可以通过测距仪器来测出发生爆炸的建筑物与周围建筑物的距离，以确定总平面布置是否违反安全规范、是否符合设计要求等，也可以通过测距仪器测出爆炸飞散物飞出的距离等情况。
壁面超声检测仪	主要用于检测混凝土的强度、裂缝深度、混凝土匀质性、损伤层厚度、混凝土厚度、桩身完整性、结构内部缺陷、钢管混凝土内部缺陷。
多功能复合气体检测仪	用于连续检测可燃气体、氧气以及毒性气体的本质安全型仪器。
智能红外线测温仪、多功能环境参数测量仪	用于环境中风速、风量、温度、湿度、压力的测量和显示。
照明工具，手电筒、照明灯等	用于调整光线位置，看清现场情况。
现场信息处理工具，信息储存与处理设备、数据采集板卡	结合基于计算机或者其他专用测试平台的测量软硬件产品来实现事故现场信息的采集和处理。
现场勘查组合工具	用于提取手印、足迹、各种微量物证和生物物证的专用器材。
移动式 3G 图传便携式巡检设备	用于事故现场直播、应急指挥等。
UPS 电源、汽油发电机（6kW）	用于为事故调查与取证中电气设备的持续供电。

除了上面所述的几种装备外，事故调查人员根据具体情况还需要配备着装、穿戴安全帽等防护工具。

8 调查与取证的技术性内容认定

8.1 爆炸点（起火点）认定。根据相关人员的描述、爆炸痕迹、事故单位的危险化学品存放地点等信息确定爆炸点（起火点）的位置。

8.2 热伤害情况认定。热作用情况包括危险化学品的燃烧热辐射伤害与爆炸热辐射伤害两种形式，人员热伤害等级情况需由专业医护人员确认。

8.3 冲击波伤害情况认定。以爆炸点为中心逐步向外收集冲击波对建筑（构）物的破坏情况和人员的伤害情况，建筑（构）物根据已有冲击波超压破坏准则确定爆炸中心周围的冲击波超压值范围(见 GB 6722—2014 爆破安全规程)，人员受冲击波伤害情况需由专业医护人员确定。结果以简图形式呈现，主要反映冲击波作用的伤害范围及程度。内容包括：爆炸点与目标物（人员，建筑）相对位置，目标物伤害等级，绘制事故冲击波伤害简图。

8.4 碎片情况认定。以爆炸点为中心逐步向外收集爆炸产生的碎片信息。结果以表格和简图的形式呈现。内容包括：碎片编号、破片质量、破片总数目及碎片形状、绘制碎片分布简图。简图主要反映各个碎片的分布情况，内容包括爆炸点与碎片位置。

8.5 成坑情况认定。成坑情况主要因凝聚相危险化学品爆炸形成。收集爆炸现场的炸坑信息，主要包括炸坑附近的土地介质、炸坑形状、炸坑深度（最大深度）以及炸坑跨度（最大和最小跨度）等相关数据，并绘制炸坑简图。

8.6 其他伤害情况认定。人员窒息及中毒情况。危险化学品的爆炸极有可能产生大量的有毒有害气体，因而要对人员的中毒及窒息情况进行调查。包括人员窒息、中毒程度及其分布位置。人员窒息及中毒程度由专业医护人员确定。人员受伤害程度结果以表格形式呈现，人员分布位置情况以平面图的形式呈现。

9 调查与取证的技术性内容认定

9.1 气态物质。对事故现场采集气态物质的处理定。a) 对于易燃易爆气体、液体的蒸气、物质受热分解的气体的勘查，当在空气中的浓度较小时，采用固体吸收剂和液体吸收剂对事故现场残留的气体进行吸收、阻流处理；b) 空气中的气态物质浓度较高时，直接利用真空瓶采气、经典沉降法、注射器采集法对现场的气态物质进行采集后进行勘测处理。

9.2 液态物质。对事故现场采集液态物质的处理。a) 对残留在地板（平台）、木材、泥土等载体上及容器和管道内的液态物质进行采集和勘测；b) 残留在玻璃瓶、塑料瓶、铁罐壁上的残液的采集时，要将容器用适当的溶剂洗刷，采集洗涤液；c) 将采集的液态样品密封于玻璃瓶、塑料袋中保存以防挥发。

9.3 固态物质。对事故现场采集固态物质的处理。a) 对微小物证样品的采集要特别谨慎，应戴上口罩，用洁净的小镊子钳取；b) 对现场烟熏痕迹物证的采集，应先拍照固定，必要时以现场制图和现场勘查笔录辅助说明。必须通过分析烟尘成分来确定原来的可燃物种类时，要采集烟尘作为检材；c) 对事故现场固态物质的形状、颜色、质量等进行勘查，在勘查过程中为了安全起见遇到固态化学物质，尤其是固体危险化学品，必须严格制定并执行勘测程序，避免二次事故。

以上三种形态的物质成分的认定应由有检验资质的机构和专业人员给出结论。

9.4 点火源

包括点火源类别、存在部位、形成条件及表现形式等。

在危险化学品生产、储存、使用等过程中，造成爆炸事故的点火源有热点火源、电点火源、机械点火源、化学点火源、波类点火源、烟火点火源、其他点火源。分析和确定危险化学品爆炸事故

的点火源时，应从 7 类点火源考虑，即，热点火源、电点火源、机械点火源、化学点火源、波类点火源、烟火材料点火源、其他点火源。

在认定事故点火源时，应考虑点火源特征要素（见附录 B.1，包括点火源存在形式、引燃能力影响因素、能量表征指标、举例）、典型点火源能量分布及引燃可燃物类别（见附录 B.2）、静电放电能量及引燃能力（见附录 B.3 和附录 B.4）、可燃气体和蒸气的最小点火能（见附录 B.5）进行点火源认证。

该条款引入了我国十三五国建重点研发计划项目的部分成果。

9.5 爆炸物质及其数量

首先确定爆炸物质种类。由专业人士对收集到的气、液、固三相物质进行分析，给出危险化学品的种类信息及各成分所占的比例关系，结合条款“6 调查与取证的一般内容 and 要求”中的信息，认定爆炸物质。

爆炸过程涉及的危险化学品数量可由事故单位危险化学品储存信息、热作用情况确定危险化学品的数量、冲击波作用情况确定危险化学品数量、破片情况确定危险化学品数量、炸坑情况确定危险化学品数量等 5 方面的情况，后 4 中的推演经验公式列在附录 A 中。由事故调查组技术专家综合后给出。后 4 中的推演经验公式列在附录 A 中。

该条款引入了我国十三五国建重点研发计划项目的部分成果。

10 技术性报告

10.1 技术报告内容

危险化学品爆炸事故技术调查报告的内容包括：

- 1)前言，调查的目的、组织情况、简要过程及主要调查建议,调查组人员组成；
- 2)事故概况，报警时间、起爆地点、起爆单位或场所，爆炸面积、人员伤亡和爆炸损失情况，爆炸原因；
- 3)技术调查情况，事故单位或场所概况，爆炸发生发展过程,灭火救援及战勤保障情况，单位消防安全管理情况，政府及部门消防监督管理情况等；
- 4) 爆炸成因分析，引发爆炸的直接原因、爆炸蔓延失控的原因、人员伤亡和财产损失的原因、报警和扑救情况、公共消防设施建设情况、其他导致爆炸失控、人员伤亡、财产损失的原因和教训；
- 5)存在的主要问题，报告中有些需要进一步探讨的问题等；
- 6)工作建议，对法律法规、标准规范、安全技术措施、单位安全管理、政府及部门安全管理、救援及战勤保障、公共安全设施和消防装备、公民安全素质等方面的建议；
- 7)研究建议：在防火、防爆方面需要进一步研究的工作；
- 8)附件：有关现场图、照片、记录、图纸、文件、文书复印件及资料等。

10.1 技术报告签字

危险化学品爆炸事故技术调查报告应经调查组全体讨论由调查组全体成员签字。技术调查组成员对具体问题无法形成一致意见时，应在调查报告中对不同意见和理由分别进行说明。

10.3 技术报告提交时限

技术调查组形成事故技术调查报告时限按照中华人民共和国国务院令（第 493 号）《生产安全事故报告和调查处理条例》执行，情况复杂疑难的，经应急管理部门负责人同意，可延长。技术调查中需要进行检验、鉴定的，检验、鉴定时间不计入调查期限。

10.4 技术报告上报

组织技术调查的应急管理部门应在事故技术调查报告完成后及时上报至上级应急管理部门。

10.5 技术报告使用

危险化学品爆炸事故技术调查报告属于内部文件，其目的是总结、发现和解决防火防爆工作中的技术问题，提出吸取教训、完善法规标准、改进工作的建议，不作为政府和有关部门事故调查和处理的依据，不属于当事人可申请查阅的范围。

11 结果运用

1）危险化学品爆炸事故调查组织机构可结合技术性报告提出的问题和建议，部署调查研究或改进工作。

2）对涉及政府其他部门、机构工作职责范围的，危险化学品爆炸事故调查组织机构可提请同级人民政府批转研究、落实，或函送有关部门、机构，提出工作建议。

3）应急管理部门应对危险化学品爆炸事故技术调查情况进行统计、总结分析，研究地区消防安全和火灾规律，形成工作意见和建议，为完善法规标准建设、改进消防工作、推进消防科研等提供依据。

4）应急管理部门应将危险化学品爆炸事故技术调查报告上报至上级应急管理部门。在危险化学品爆炸事故调查中发现重要情况，以及提出时效性较强的工作意见和建议的，可随时上报。

七、标准属性

根据我国对标准属性的划分原则，本标准为您推荐性标准。

八、标准水平分析

本标准适用于危险化学品爆炸事故技术调查工作的组织与实施，为事故调查报告提供技术性支持，能促进危险化学品爆炸事故调查的科学性。本标准内容也可供涉及危险化学品企业安全管理中隐患排查与治理时参考。总体水平达到国内先进水平。