

◆设备、控制与安全生产◆

某磷化氢项目安全设计

李 冬

(中石化南京工程有限公司, 江苏 南京 210046)

[摘 要] 磷化氢在工业上用于生产半导体器件和集成电路, 也用于有机合成。磷化氢性质特殊, 其火灾危险性为甲类, 属于易燃气体类别1; 磷化氢属于危险化学品、剧毒化学品和高毒化学品, 职业性接触毒物危害程度为极度危害 (I级), 急性毒性-吸入类别2。以某电子级磷化氢项目为例, 设计考虑判定项目中人员集中建筑, 结合定量风险分析的结果, 说明在设计过程中需要考虑防火、防爆和防毒等相关措施, 以及对应的工程防护对策。

[关键词] 磷化氢; 防火防爆; 防毒

[中图分类号] TQ126.3³; TQ086.1 [文献标志码] A [文章编号] 2097-4566 (2025) 05-0118-06

Safety design of a phosphine project

LI Dong

(SINOPEC Nanjing Engineering Co., Ltd., Nanjing 210046, China)

Abstract: Phosphine is used in industry for the production of semiconductor devices and integrated circuits, and is also used in organic synthesis. Phosphine has special properties, and its fire risk is Class A, belonging to the flammable gas class 1; Phosphine belongs to dangerous chemicals, highly toxic chemicals and highly toxic chemicals, the degree of occupational exposure to poisons is extremely harmful (Class I), acute toxicity - inhalation category 2. Taking an electronic grade phosphine project as an example, the design consideration determines the construction of personnel concentration in the project, and combined with the results of quantitative risk analysis, it shows that the relevant measures such as fire prevention, explosion prevention and antivirus should be considered in the design process, as well as the corresponding engineering protection countermeasures.

Key words: phosphine; fire and explosion prevention; antivirus

磷化氢在工业上用于生产半导体器件和集成电路, 也用于有机合成。磷化镁、磷化铝等能在潮湿空气中释放出磷化氢, 常被用作谷物、药物防虫的烟熏剂。磷化氢性质特殊, 极易燃, 且毒性很高, 一旦发生泄漏, 危害极大。涉及磷化氢的项目一般采用定性风险分析 (HAZOP) 和定量风险分析 (QRA) 等方法进行风险评价^[1-2], 并将结论应用于设计中。

笔者以某电子级磷化氢项目为例, 说明磷化氢危害性以及在设计过程中的注意事项, 同时考虑磷化氢泄漏后对周边人员集中建筑的热辐射、爆炸和毒害影响^[3-5], 以及对应的工程防护对策。

1 磷化氢性质说明

1.1 磷化氢火灾危险性

磷化氢相对分子质量 34.04, 熔点-133 ℃, 沸点-87.7 ℃, 相对密度 (水=1) 0.8, 相对蒸气密度 (空气=1) 1.17, 饱和蒸气压 53.32 kPa (-98.3 ℃),

临界温度 52 ℃, 临界压力 6.58 MPa, 闪点-88 ℃, 引燃温度 100~150 ℃, 爆炸极限 1.8%~98.0% (体积比)。

磷化氢极易燃, 具有强还原性, 遇热源和明火有燃烧爆炸的危险, 火灾危险性为甲类。其危险性类别, 为易燃气体类别1。

1.2 混合气体可燃性判定

在项目中, 常见磷化氢和氮气的混合气体。

混合气体可燃性判定: 通过《混合气体的分类 第3部分: 可燃性分类》(GB/T 34710.3—2018) 计算可知, 磷化氢和氮气的混合气体中磷化氢体积分数 < 1.7% 时, 该股混合气体 (泄漏至大气中) 不可燃; 当磷化氢体积分数 > 1.7% 时, 该股混合气体 (泄漏至大气中) 可燃。根据混合气体爆炸

[收稿日期] 2024-10-11

[作者简介] 李 冬 (1987-), 男, 河南商丘人, 硕士, 高级工程师, 主要从事化工安全设计相关工作。

极限的计算^[6-7]，当磷化氢和氮气的混合气体中，磷化氢体积分数 < 16.5%时，该混合气体的爆炸极限 > 10%，则该混合气体的火灾危险性为乙类；当磷化氢体积分数 > 16.5%时，该混合气体的爆炸极限小于10%，则该混合气体的火灾危险性为甲类。

表1 磷化氢和氮气混合气体火灾危险性

Table 1 Fire hazards of phosphine and nitrogen gas mixtures

混合气体中 $\varphi(\text{PH}_3)/\%$	混合气体火灾危险性
< 1.7	不可燃
1.7~16.5	乙类
> 16.5	甲类

工艺系统中混合气体的爆炸极限计算需要考虑温度和压力的影响^[6]。

1.3 磷化氢毒性

根据《危险化学品目录（2015版）》，磷化氢属于危险化学品和剧毒化学品。其危险性类别，易燃气体，类别1；加压气体；急性毒性-吸入，类别2；皮肤腐蚀/刺激，类别1B；严重眼损伤/眼刺激，类别1；危害水生环境-急性危害，类别1。

根据《高毒物品目录》（2003年版）辨识，磷化氢为高毒化学品。

根据《压力容器中化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类标准》（HG/T 20660—2017），磷化氢职业性接触毒物危害程度为极度危害（I级）。

磷化氢主要损害神经系统、呼吸系统、心脏、肾脏及肝脏。急性轻度中毒，病人有头痛、乏力、恶心、失眠、口渴、鼻咽发干、胸闷、咳嗽和低热等症状；中度中毒，病人出现轻度意识障碍、呼吸困难、心肌损伤；重度中毒则出现昏迷、抽搐、肺水肿及明显的心肌、肝脏及肾脏损害。

职业接触限值：最高容许质量浓度（MAC）为0.3 mg/m³；直接致死质量浓度（IDLH），20℃对应为280 mg/m³。

1.4 混合气体毒性判定

在项目中，磷化氢和氮气混合气体的职业性接触毒物危害程度分级见表2。

表2 磷化氢和氮气混合气体的职业性接触毒物危害程度分级

Table 2 Classification of occupational exposure hazards to phosphine and nitrogen gas mixtures

混合气体中 $\varphi(\text{PH}_3)/\%$	混合气体的职业性接触毒物危害程度分级
> 1.0	极度(I级)
0.2~1.0	高度(II级)
< 0.2	中度(III级)

根据《混合气体的分类 第1部分：毒性分类》（GB/T 34710.1—2017），磷化氢和氮气混合气体的毒性判定见表3。

表3 磷化氢和氮气混合气体的毒性判定

Table 3 Toxicity determination of phosphine and nitrogen gas mixtures

混合气体中 $\varphi(\text{PH}_3)/\%$	混合气毒性
< 0.4	无毒
0.4 ~ 10.0	有毒
> 10.0	剧毒

2 项目概况及人员集中建筑判定

某项目工艺介绍：（1）亚磷酸热解工艺，用高温导热油对反应器进行加热，达到温度后，加入液态亚磷酸。反应温度在240~260℃时，亚磷酸发生热解化学反应产生磷化氢、氢气、磷酸和水蒸气，对气体进行脱水、吸附纯化、精馏，在液氮的作用下，收集到深度净化磷化氢充装到收集罐作为产品。（2）磷化铝水解工艺，原料磷化铝和水在反应釜内反应生成粗制磷化氢气体，反应温度在40~50℃，反应气体去除杂质后，经换热器冷凝去除水分，继续冷凝干燥后，吸附纯化、精馏，最后充装。

项目建设有1#磷化氢厂房、1#甲类仓库、2#甲类仓库、办公楼、中央控制室、实验楼、消防泵房、机修车间、变配电室、1#门卫室和2#门卫室等。

人员集中建筑物是指有固定工作人员在内或者经常有人逗留的建筑物，且满足以下两个条件之一：固定工作岗位上的人员工作时间为40人·h/d以上的场所；高峰期内，在建筑物内工作1h及以上的人员数量不少于10人（出现频率>每月一次）。

本项目中办公楼、中央控制室、实验楼、机修车间、1#门卫室和2#门卫室等属于人员集中建筑物。

3 磷化氢设计需注意的安全规范要求

1) “两重点一重大”说明

磷化氢属于重点监管的危化品。亚磷酸热解工艺和磷化铝水解工艺均不涉及重点监管的危险化工工艺。根据《危险化学品重大危险源辨识》（GB 18218—2018）要求，磷化氢的重大危险源临界量为1t，项目中1#甲类仓库构成一级重大危险源。

2) 首次工业化

根据《危险化学品生产建设项目安全风险防控指南》要求，对属于国内首次使用的化工工艺项目，建设单位应在安全条件审查前编制安全可靠论证报告，提请有关部门进行论证。

3) HAZOP分析和SIL分级

《关于进一步加强危险化学品建设项目安全设计管理的通知》(安监总管三〔2013〕76号),涉及“两重点一重大”和首次工业化设计的建设项目,必须在基础设计阶段展开HAZOP分析。根据《危险化学品生产建设项目安全风险防控指南》要求,应在初步设计阶段,根据过程风险分析提出的风险降低要求,确定安全仪表功能(SIF)的功能性要求及需要的安全完整性等级(SIL)。项目中磷化氢涉及重点监管的危化品,1#甲类仓库构成一级重大危险源,且建设期间项目工艺为首次工业化,需要在基础设计阶段进行HAZOP分析和SIL分级。

4) 总图布置

磷化氢火灾危险性为甲类,根据《关于进一步加强危险化学品建设项目安全设计管理的通知》(安监总管三〔2013〕76号)要求,采用《石油化工企业设计防火规范》(GB 50160—2008)进行防火间距布置。磷化氢火灾危险性为甲类,1#磷化氢厂房、1#甲类仓库、2#甲类仓库均按照火灾危险性甲类进行布置。

根据《危险化学品生产、储存装置个人可接受风险标准和社会可接受风险标准(试行)》(国家安全生产监督管理总局公告〔2014年〕第13号),外部安全防护距离是指危险化学品生产、储存装置危险源在发生火灾、爆炸、有毒气体泄漏时,为避免事故造成防护目标处人员伤亡而设定的安全防护距离。项目中1#磷化氢厂房、1#甲类仓库和2#甲类仓库等火灾危险性均为甲类,且磷化氢为剧毒化学品、急性毒性-吸入类别2和极度危害,需要考虑1#磷化氢厂房、1#甲类仓库和2#甲类仓库等发生泄漏后,导致的火灾、爆炸和有毒气体对人员集中建筑的影响。

5) 管道和管件设计

毒性考虑,根据《压力管道规范 工业管道第1部分总则》(GB/T 20801.1—2020)要求,磷化氢毒性为急性毒性-吸入类别2,涉及磷化氢的管线为GC1管道。

涉及磷化氢介质阀门,使用低逸散型半导体专用阀门,涉及磷化氢介质管道法兰采用凹凸面法兰。磷化氢生产线设备和管道采用316L材质,不锈钢管道采用的是无缝钢管、半导体专用管道,管道连接采用对焊焊接,开车之前做气密性试验、氦渗透检验。

根据《国家安全监管总局关于加强化工企业泄

漏管理的指导意见》(安监总管三〔2014〕94号)和《石油化工金属管道布置设计规范》(SH3012—2011)要求,在涉及磷化氢设备和管线的排放口、采样口等排放部位,应通过加装盲板、丝堵、管帽、双阀等措施,减少泄漏的可能性。

6) 洗眼器设置

根据《石油化工金属管道布置设计规范》(SH 3012—2011)要求,在极度危害介质的生产区和使用区内,应设置安全喷淋洗眼器。磷化氢遇空气燃烧后会形成磷酸,对皮肤有腐蚀,根据《石油化工紧急冲淋系统设计规范》(SH/T 3205—2019)要求,也需要设置洗眼器。

7) 密闭采样器设置

根据《石油化工金属管道布置设计规范》(SH 3012—2011)和《石油化工企业职业安全卫生设计规范》(SH/T 3047—2021),涉及磷化氢的物料应采用密闭采样器,需要密闭排放或者经处理达标后排放。

8) 换热器内漏

本项目涉及换热设备,需要考虑换热器内漏后,磷化氢进入换热介质中的检测手段。

9) 设备

根据《固定式压力容器安全技术监察规程》(TSG 21—2016),对于介质毒性程度为极度、高度危害或设计上不允许有微量泄漏的压力容器应要求泄漏试验。

10) 动设备

处理磷化氢的转动设备应采用双机械密封、双干气密封或其他更好的密封形式。处理磷化氢的转动设备的壳体应采用铸铁材料。

11) 火炬排放

根据《石油化工企业设计防火标准》(GB 50160—2008),毒性为极度和高度危害的可燃气体、惰性气体、酸性气体及其他腐蚀性气体不得排入全厂性火炬系统,应设独立的排放系统或处理排放系统。

根据《石油化工可燃性气体排放系统设计规范》(SH 3009—2013),磷化氢为剧毒,需要单独排放处理。本项目磷化氢尾气送至焚烧炉经高温分解吸收后外排。

12) 有毒气体检测

根据《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准》(GB/T 50493—2019)要求,磷化氢需要设置固定式有毒气体检测仪。操作人员需要配备

便携式有毒气体检测器，一级报警值为 150×10^{-9} ，二级报警值为 300×10^{-9} 。

13) 爆炸危险区域划分

根据《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)，涉及磷化氢的场所如1#甲类仓库、危废库和厂房防爆等级不低于IIAT4 Gb。

14) 仪表设置

根据《固定式压力容器安全技术监察规程》(TSG 21—2016)，压力容器用液位计，用于易爆、毒性程度为极度或者高度危害介质、液化气体压力容器上的液位计，有防止泄漏的保护装置。对于仪表相关规范中易燃、有毒相关要求的要求，均应遵守。

15) 建构筑物设计

该项目磷化氢火灾危险性为甲类，1#磷化氢厂房、1#甲类仓库、2#甲类仓库，根据《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)需要考虑防火分区、泄爆、疏散等相关要求。

16) 暖通

根据《石油化工采暖通风与空气调节设计规范》(SH/T 3004—2011)，对于放置爆炸危险性物质和剧毒物质的生产厂房，机械通风的进风口和排风口水平距离大于等于20 m时，排风口应高出建筑物1 m，小于20 m时，排风口应高出进风口6 m以上。

17) 气防设计要求

根据《气体防护站设计规范》(SY/T 6772—2009)要求，使用、生产急性毒性为极度危害、高度危害的有毒气体或形成有毒气体重大危险源的大、中型企业应设置气体防护站；小型企业应设置气体防护点。

18) 剧毒化学品政府监管要求

根据《危险化学品安全管理条例》(国务院令 第591号)要求，剧毒化学品以及储存数量构成重大危险源的其他危险化学品，应在专用仓库内单独存放，实行双人收发、双人保管制度。

根据《危险化学品重大危险源监督管理暂行规定》(国家安监总局令第40号)要求，重大危险源中储存剧毒物质的场所或者设施，设置视频监控系统。

1#甲类仓库应按照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA 1002—2012)要求执行。

19) 应急救援

生产、储存剧毒化学品的作业场所，设置通信、报警装置，现场配备应急处置设备、设施，急

救用品、药品和冲洗设备，并保证在任何情况下处于正常使用状态。

根据《危险化学品单位应急救援物资配备要求》(GB 30077—2013)规定要求，本项目作业场所考虑应急物资配备。根据《工业企业设计卫生标准》(GBZ 1—2010)要求，在本项目作业场所配备急救箱。

磷化氢中毒的治疗旨在通过紧急处理措施帮助患者将磷化氢从肺、胃肠道和肾脏中排出。在意外吸入的情况下，首要的是将患者置于新鲜空气中以增强通过呼吸的代谢过程；而在摄入的情况下，肠道净化是优先事项，可使用硫酸镁、高锰酸钾、碳酸氢钠和椰子油、液体石蜡等洗胃。受到磷化氢刺激后出现眼部症状时，可用生理盐水冲洗15 min，再用抗生素眼药水和可的松眼药水交替滴眼。喉头水肿及支气管痉挛时可行气管插管或气管切开术。皮肤接触时应立即脱去被污染的衣服，用肥皂水和清水彻底冲洗皮肤。如果出现磷化氢燃烧爆炸的情况，消防人员必须穿戴全身防火防毒服，应用干粉、干燥砂土等灭火剂，禁止使用水和泡沫灭火剂灭火^[8]。

4 人员集中建筑的防火、防爆和防毒设计计算

4.1 人员集中建筑防火设计

根据《建筑防火通用规范》(GB 55037—2022)，可以考虑采用辐射热强度来控制防火间距^[9]。工厂界区内允许的最大热辐射值见表4。

表4 工厂界区内允许的热辐射

Table 4 Allowable thermal radiation within the factory boundary

序号	界区内的设备	允许最大热辐射/ (kW·m ⁻²)
1	相邻储罐的混凝土外表面	32
2	相邻储罐的金属外表面	15
3	相邻压力储存容器和工艺设施的外表面	15
4	控制室、维修间、实验室、仓库、临时建筑等	8
5	行政办公楼	5

选取气体收集罐(磷化氢，液相储存)作为热辐射计算设备，该设备发生泄漏后可能导致喷射火、早期池火和晚期池火。早期池火，液池的燃烧速率与进入液池的泄漏速率相同时形成的最大液池火灾。晚期池火，形成最大液池直径后，被引燃的液池火灾。结合企业的应急管理能力和磷化氢易燃性质，选择早期池火作为热辐射的计算依据。

气体收集罐发生25 mm泄漏导致的早期池火热

辐射影响范围见图1。

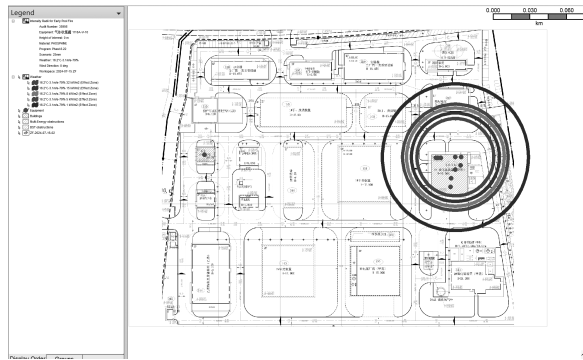


图1 气体收集罐发生25 mm泄漏导致的早期池火热辐射影响范围

Fig. 1 The early pool thermal radiation impact range caused by 25 mm leakage in gas collection tank

从图1中可以看出,气体收集罐发生25 mm泄漏导致的早期池火5 kW/m²的影响范围为43 m,人员集中建筑均布置在该影响范围之外,符合表4热辐射强度的要求。

4.2 人员集中建筑防爆设计

气体收集罐发生25 mm泄漏导致的爆炸影响范围见表5。

表5 气体收集罐发生25 mm泄漏导致的爆炸影响范围
Table 5 Explosion impact caused by 25 mm leakage in gas collection tank

泄漏场景	不同压力(kPa)气体收集罐影响范围/m				
	3	6.9	20	45	60
25 mm	130.2	62.0	27.2	16.6	14.2

气体收集罐发生25 mm泄漏导致的爆炸对各人员集中建筑的爆炸超压值见表6。

表6 气体收集罐发生25 mm泄漏导致的爆炸对各人员集中建筑的爆炸超压值

Table 6 Explosion overpressure values of various personnel concentrated buildings caused by 25 mm leakage in gas collection tank

项目	距离/m	爆炸冲击波峰值入射超压/kPa	正压作用时间/ms
实验楼	76	5.46	20.2
中央控制室	119	3.31	21.2
办公楼	165	2.31	22.2
1#门卫	178	2.13	22.4
机修车间	197	1.90	2.27
2#门卫	237	1.55	2.32

需要计算其他相关设备,筛选出对人员集中建筑爆炸超压最大值。经计算,1#甲类仓库内磷化氢气瓶发生25 mm泄漏时,对机修车间的爆炸冲击波峰值入射超压为18.06 kPa(正压作用时间为14.6 ms)。根据《石油化工过程风险定量分析标准》(SH/T 3226—2024)要求,当爆炸冲击波峰值入射超压 > 6.9 kPa 或者爆炸冲量 > 207 kPa·ms 时,建筑物主体结构应采用抗爆设计。在设计阶段,为避免建筑抗爆,可调整机修间总图位置,同时减少人员出现的频率。

4.3 人员集中建筑防毒设计

磷化氢直接致死浓度(IDLH): 20℃为280 mg/m³,考虑设备发生泄漏后280 mg/m³的影响范围。

气体收集罐发生25 mm泄漏后,ρ(PH₃)为280 mg/m³的影响范围如图2所示。

通过图2可以看出,气体收集罐发生25 mm泄漏时,直接致死质量浓度280 mg/m³水平影响范围

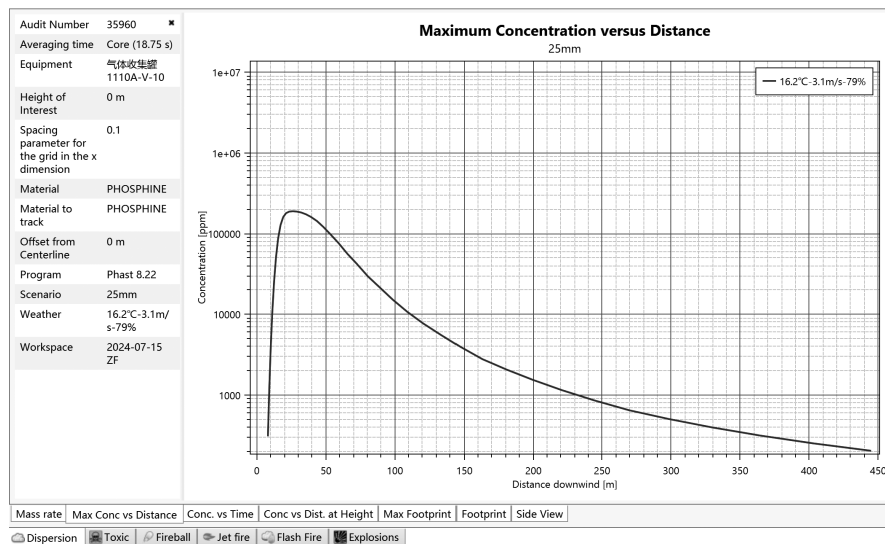


图2 气体收集罐发生25 mm泄漏ρ(PH₃)为280 mg/m³的影响范围

Fig. 2 Impact range of ρ(PH₃) 280 mg/m³ caused by 25 mm leakage in gas collection tank

为445 m,即所有的人员集中建筑均在影响范围内。

5 结论

(1) 磷化氢性质特殊,火灾危险性为甲类,易燃气体类别1;磷化氢属于危化品、剧毒化学品和高毒化学品,职业性接触毒物危害程度为极度危害(I级),急性毒性-吸入类别2。列出了在设计过程中的部分要求,对于其他涉及以上火灾危险性和毒性的要求均需要执行,提高设计等级,防止磷化氢泄漏,同时还要避免空气或氧气进入到磷化氢系统中。混合气体根据磷化氢的浓度判定火灾危险性和毒性,对部分设备和管线进行优化设计。

(2) 人员集中建筑,在设计过程中需要考虑防火、防爆和防毒等相关措施。

关于防火间距、热辐射强度以及耐火等级的关系,目前规范中没有明确要求,需要进一步探讨。

人员集中建筑抗爆相关要求,可以从建筑物抗爆、总图布置以及减少建筑中人员停留等措施考虑。

人员集中建筑防毒等相关要求,目前主要从有毒气体检测报警仪设置、正压通风和应急救援等方面考虑。根据《呼吸防护用品的选择、使用与维护》(GB/T 18664—2002)的有关要求,在IDLH环境中为进入此区域的人员配备合适的防护用品,如全面罩的正压式携气式呼吸防护用品(SCBA);或在配备适合的辅助逃生型呼吸防护用品的前提下,配全面罩或送气头罩的正压供气式呼吸防护用品^[10]。

[参考文献]

- [1] 韩新宇,韩长秀,毕成良,等.磷化氢尾气制备超纯磷生产工艺的风险评价[J].安全与环境学报,2008,8(4):160-163.
HAN X Y, HAN C X, BI C L, et al. Improved risk assessment method in producing ultra-pure phosphorus by using phosphine vented from the industry[J]. Journal of Safety and Environment, 2008,8(4):160-163.
- [2] 杨长醋,张泽生,张莉.磷化氢气柜泄露和爆炸环境风险分析[J].天津化工,2010,24(3):42-44.
YANG C C, ZHANG Z S, ZHANG L. Environmental risk analysis on the explosion of phosphine gas tank leak[J]. Tianjin Chemical Industry, 2010,24(3):42-44.
- [3] 刘亚朝,李少鹏,赵洪祥.计算流体力学模拟高压储氢设施泄漏后果[J].厦门大学学报(自然科学版),2023,62(1):103-110.
LIU Y Z, LI S P, ZHAO H X. Computational fluid dynamics simulation of leakage consequences of high pressure hydrogen storage facilities [J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2023,62(1):103-110.
- [4] 李冬.H₂S制硫酸装置外部安全防护距离设计[J].云南化工,2019,46(4):108-112.
LI D. Design of external Safety Protection distance for an Acid Gas sulfuric Acid Plant [J]. Yunnan Chemical Technology, 2019, 46(4):108-112.
- [5] 范咏峰,李少鹏,韦建树.控制室面向有爆炸风险侧是否可以有门窗浅析[J].流程工业,2022(6):33-37.
FAN Y F, LI S P, WEI J S. Analysis on whether there can be doors and windows facing the side with explosion risk in the control room[J]. Process Industry, 2022(6):33-37.
- [6] 李冬,陶刚,张礼敬,等.尿素合成塔内化学爆炸机理分析[J].安全与环境学报,2011,11(2):191-195.
LI D, TAO G, ZHANG L J, et al. Theoretical analysis on the urea reactor explosion accidents[J]. Journal of Safety and Environment, 2011,11(2):191-195.
- [7] 刘涛涛,贾泉升,刘成.多组分可燃气体爆炸极限研究现状及探讨[J].工业安全与环保,2022,48(9):53-55.
LIU T T, JIA Q S, LIU C. Research status and discussion on explosion limit of multi-component combustible gas [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2022,48(9):53-55.
- [8] 张佳丽,林佳曼,强火生,等.磷化氢中毒症状、急救及毒理学研究进展[J].复旦学报(医学版),2023,50(5):771-779.
ZHANG J L, LIN J M, QIANG H S, et al. Research progress on symptoms, first aid and toxicology of phosphine poisoning [J]. Fudan Univ J Med Sci, 2023,50(5):771-779.
- [9] 章志洋,张学锋,杨武洲,等.化工厂复杂火灾环境中的热辐射区域仿真研究[J/OL].重庆工商大学学报(自然科学版).https://link.cnki.net/urlid/50//55.N.20240910.1138.002
ZHANG Z Y, ZHANG X F, YANG W Z, et al. Simulation Study of Thermal Radiation Zones in Complex Fire Environments in Chemical Plants [J/OL]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition).https://link.cnki.net/urlid/50//55.N.20240910.1138.002
- [10] 李冬.某酸性气制硫酸装置防爆防毒避难设计总结[J].硫磷设计与粉体工程,2023(4):36-40,46.
LI D. Summary of Explosion-proof and Toxic-proof Evacuation Design of an Acid Gas Sulfuric Acid Plant [J]. S P & BMH Related Engineering, 2023(4):36-40,46.