

ICS

团 体 标 准

T/COSHA ××××-2021

煤气化装置安全布局技术规范

Code for safety layout technology of coal gasification plant

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中国职业安全健康协会

发布

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 初始事故.....	1
3.2 物理效应.....	1
3.3 目标装置.....	1
3.4 设备脆弱性.....	1
3.5 设备损伤度指数.....	2
3.6 多米诺事故.....	2
3.7 约束条件.....	2
3.8 目标函数.....	2
3.9 应急响应时间.....	2
3.10 设备失效时间.....	2
4 基本程序.....	2
5 煤气化装置典型事故场景风险评估.....	2
5.3 煤气化装置多米诺事故后果评估.....	3
5.4 煤气化装置风险评估模型.....	3
6 煤气化装置安全布局优化.....	4
6.1 安全布局优化目标函数.....	4
6.2 约束条件.....	4
6.3 风险可接受标准.....	5
6.4 煤气化装置布局安全优化方法.....	5
附录 A（资料性附录）煤气化装置布局安全优化程序.....	6
附录 B（规范性附录）应急响应时间计算方法.....	7
附录 C（规范性附录）设备损伤度指数(EDI).....	8
附录 D（规范性附录）安全布局约束条件.....	11
附录 E（资料性附录）布局安全优化方法计算流程.....	13

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。

本文件由中国职业安全健康协会提出并归口。

本标准由南京工业大学、中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院、华东理工大学、中国石化宁波工程有限公司、中国石化镇海炼化分公司、中安联合煤化有限责任公司负责起草。

本标准起草人：王志荣、郭品坤、兰正贵、代正华、刘学军、徐伟、李峰、宋泽阳、王庆国、赵坤、曹兴岩、邱志刚、陆海峰、杨宏泉、胡晓昕、黄爱斌、章瑞林、胡小平、安光、朱云峰、孙峰、李亚辉。

中国职业安全健康协会团体标准

煤气化装置安全布局技术规范

1 范围

本标准适用于对煤气化装置布局的风险评估和安全优化。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50160 石油化工企业设计防火规范

AQ/T 3046-2013 化工企业定量风险评价导则

GB/T 26610 承压设备系统基于风险的检验实施导则

GB 3836.1~3836.20 爆炸性环境

GB/T 29639 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则

GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 初始事故 Initial accident

最开始发生的事故或事件，即所谓的触发事件。

3.2 物理效应 Physical effect

事故发生时产生的能够导致事故进一步扩展的物的因素，其主要包括火灾热辐射、爆炸冲击波、爆炸碎片等。

3.3 目标装置 Target unit

受事故物理效应作用而发生损坏的设备。

3.4 设备脆弱性 Equipment vulnerability

设备受事故物理效应而被损坏的特性。

3.5 设备损伤度指数 Equipment damage index

将设备或指定区域事故的一系列风险要素通过一定的方式合理转换成数值或描述性的术语,是一个无量纲指数。

3.6 多米诺事故 Domino accident

当发生事故时,事故波及邻近的一个或多个设备,导致事故蔓延,引发次生事故,此一系列事故称为多米诺事故。

3.7 约束条件 Constraint condition

对在优化过程中的一些附加条件和对变量给的某些限制。

3.8 目标函数 Objective function

通过变量量化的方法,建立的装置安全与相关因素或条件之间的函数关系。

3.9 应急响应时间 Emergency response time (ERT)

事故发生时启动紧急响应,应急小组采取应急响应措施有效干预事故发展所需的最长时间。

3.10 设备失效时间 Time to failure (TTF)

目标装置受到物理效应作用后,发生失效的时间间隔。

3.11 目标设备升级概率 Target device upgrade probability

目标设备受到物理效应作用时,发生失效的概率。

4 基本程序

煤气化装置安全布局优化是以装置风险评估为基础,在装置工艺条件和相关法律法规要求的约束下,通过调整装置设备布局,降低装置风险的过程。煤气化装置布局安全优化程序见附录 A。

5 煤气化装置典型事故场景风险评估

5.1 危险源辨识

可采用预先危险性分析(PHA)、失效模式和效果分析(FMEA)、故障树分析(FTA)等方法对煤气化装置进行危险源辨识。

5.2 典型事故场景概率

根据危险源辨识结果确定初始事故,采用事件树分析(ETA)方法对可能出

事事故场景概率进行分析。

5.3 煤气化装置多米诺事故后果评估

5.3.1 物理效应

超压等物理效应的后果应采用《化工企业定量风险评价导则》(AQ/T 3046-2013) 的相关方法进行评估。

5.3.2 目标设备失效概率

应针对不同的物理效应和目标设备类型，采用式(1)计算目标设备的失效概率。

$$p_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} e^{-u^2/2} du \quad (1)$$

式中， p_{ij} —目标设备失效概率； u —积分变量。

表 1 失效概率单位及临界值

物理效应	目标装置	失效概率单位	临界值
超压	常压容器	$Y = -9.36 + 1.43 \ln P$	5.17kPa
	压力容器	$Y = -14.44 + 1.82 \ln P$	30kPa
热辐射	常压容器	$Y = 12.54 - 1.8471.82 \ln TTF$	30min
		$\ln(TTF) = -1.128 \ln(I) - 2.667 \times 10^{-5} V + 9.877$	10kW/m ²
	压力容器	$Y = 12.54 - 1.8471.82 \ln(TTF)$	30min
		$\ln(TTF) = -0.947 \ln(I) - 8.835V^{0.032}$	40kW/m ²

注：表中 Y —失效概率的概率单位值； P —超压 (Pa)； TTF —装置失效时间 (s)； I —火灾作用于目标装置的热辐射能量 (kW/m²)； V —装置体积 (m³)。

5.3.3 应急响应时间

采用应急响应时间 (EMT) 对应急响应效果进行衡量，应急响应时间 (EMT) 的计算方法见附录 B。

5.3.4 设备损伤度指数 (EDI)

评价区域内受影响设备的损伤程度的评价可选择设备损伤指数来表示 (见附录 C)。

5.4 煤气化装置风险评估模型

煤气化装置安全布置主要考虑二次事故。煤气化装置定量风险评价可采用式(2)计算。

$$F_i = p_i p_{ij} EDI_j \quad \forall i \neq j \quad (2)$$

式中, p_i —初始事故概率, p_{ij} —目标设备失效概率, EDI_j —为目标设备损伤指数, i 为初始事故设备, j 为目标设备。

6 煤气化装置安全布局优化

6.1 安全布局优化目标函数

为了获得煤气化设备在空间的安全布局,目标函数被表示为初始设备火灾爆炸风险值的最小化,由特定位置的危险源设备对目标设备的风险之和表示。目标函数的如式(3):

$$\min F = \min \sum_i F_i \quad (3)$$

$$F_i = \sum_j F_{i,j} \quad (4)$$

$$F_{i,j} = \sum_h p_{ih} p_{ijh} EDI_j \quad (5)$$

$$F = \sum_i F_i \quad (6)$$

式中, i —初始事故设备, j —目标设备, h —事故场景(火灾、爆炸等), $F_{i,j}$ —初始设备 i 对目标设备 j 的所有可能场景的风险, F_i —初始设备 i 的风险, F —煤气化装置布局风险。

6.2 约束条件

6.2.1 设备参数

根据煤气化装置的工艺参数确定煤气化设备尺寸和空间位置。

6.2.2 楼层约束

设备的布置起始于某一层并终止于某一层,对于高度超过层高的设备,则占用连续的多个楼层,其确定方法见附录 D。

6.2.3 非重叠约束

为了避免两个设备项目分配到同一楼层时占用相同的物理位置,必须避免与其他设备在 x 方向或者 y 方向有重叠,设备间距必须要大于《石油化工企业设计防火标准》(GB50160-2018)相关条款规定的防火距离(其约束方法见附录 D)。

6.3 风险可接受标准

企业在进行安全布局前,应确定风险可接受标准值。确定风险可接受标准时应遵循的以下原则:

- (1) 风险可接受标准应具有一定的社会基础,能够被政府和公众所接受。
- (2) 风险可接受标准应和社会经济发展水平相适应,并适时更新。

6.4 煤气化装置布局安全优化方法

(1) 确定煤气化装置典型场景的事故风险,并识别危险设备及事故后果较高设备(EDI 指数较高的设备)。

(2) 确定装置安全布局的相关约束条件,具体方法见附录 D。

(3) 针对 EDI 指数较高的设备,提出对该设备的安全防护措施。

(4) 采用 6.1 节中的安全布局优化目标函数求解上述安全措施和约束条件下的装置风险最低布局方案。

(5) 根据 6.3 确定的风险可接受标准,判定装置风险是否可接受。若可接受,则获得装置安全布局方案。否则,重复(3)~(5),直至风险可接受。具体优化计算过程见附录 E。

附录 A （资料性附录）

煤气化装置布局安全优化程序

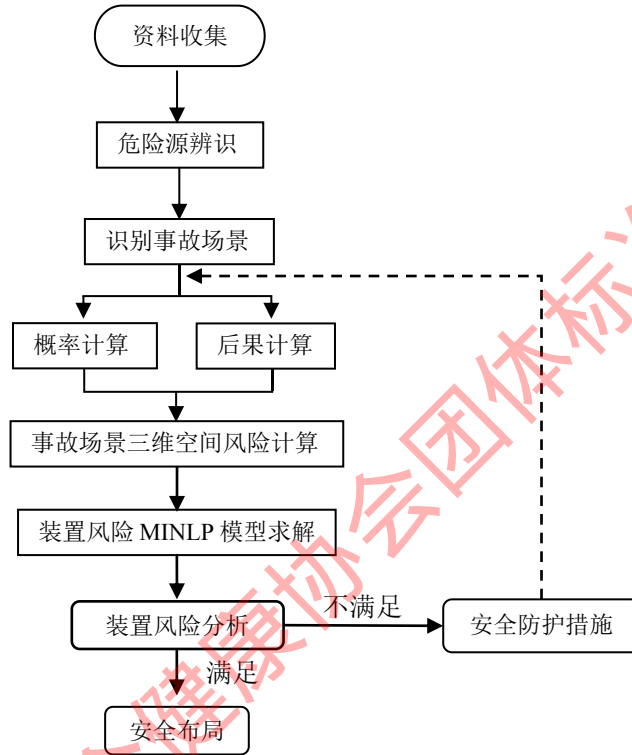


图 A.1 安全布局基本程序

附录 B（规范性附录）

应急响应时间计算方法

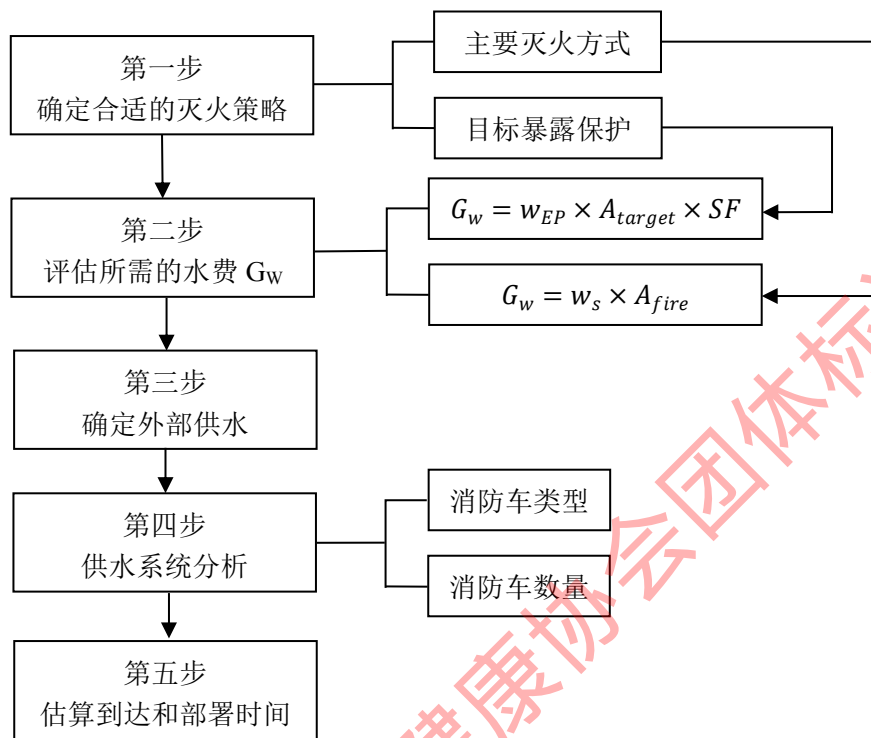


图 B.1 计算 EMT 的简化程序

式中： G_w —灭火所需的水量； A_{fire} —池表面的面积，或火焰几何的任何其他表面特征，单位(m^2)； A_{target} —目标设备的横截面积； w_{EP} —目标暴露防护所需的用水密度，取 $12.2L/min \cdot m^{-2}$ ； w_s —灭火所需的用水密度，取 $10 L/min \cdot m^{-2}$ ； SF —安全系数，取 3。

灭火响应时间、到达时间和持续时间，以及对特定类别的应急车辆定义的装置部署操作结合起来，以估计提供并保持规定水量不变所需的总时间间隔。最终计算得出 EMT 值为：

- (1) 向外部应急小组发出警报的时间（5min，通常为炼油厂和液化石油气储存设施）；
- (2) 定向呼叫时间、消防队员出动时间和驾驶时间，可称为总体响应时间，（工业区 12min）；
- (3) 进行设备部署和其他额外设置操作的时间（分别为 7min 和 8min）；

附录 C（规范性附录）

设备损伤度指数(EDI)

设备损伤度指数评价多米诺事故后果，进行结果的可视化表征，采用模糊综合评价法进行计算。

为了有效评价危险源对目标设备损伤度等级，本标准选取了四个重要指标， $U=\{u_1, u_2, u_3, u_4\}=\{\text{设备固有危险性，安全屏障有效性，设备重要性，应急响应时间}\}$ 。

C.1 设备固有危险性

由于化工设备所含介质及其工艺条件的不同，不同化工设备在相同的事故场景中发生二次事故所造成的后果是不同的。道化学火灾爆炸指数（F&EI）方法可以逐级评估和量化过程装置和所含材料的潜在火灾、爆炸和反应风险，通过采用 F&EI 来量化设备的固有危险性大小，该指标是衡量设备的损伤程度的重要指标。

C.2 安全屏障有效性

安全屏障是物理和工程系统或人在特定的过程或管理控制过程中的行为，可以起到有效缓解事故后果的作用。设大于 20 kPa 的爆震波通过防爆墙时减小 20%，对于爆炸事故场景，根据超压值的大小对防爆墙缓解设备损伤效果进行了评估。

C.3 设备关键性

设备关键性用于评估设备的不可用性对整个工艺过程的影响程度，设备关键性评估 PIEU 原则是从设备相关的四个方面进行考量：

- P: 后果的严重性；
- I: 设备对工艺过程的重要性；
- E: 设备状况（如使用年龄、大修次数，故障频率）；
- U: 设备使用（生产）时间占设备开启时间的比率，称为使用率。

评分标准见表 C.1 所示。

表 C.1 设备关键性评估评分标准

权重 指标	0	1	2	3
P	对工艺过程和环境有严重影响	对工艺过程和环境有影响	对工艺过程和环境有较小影响	对工艺过程和环境无任何影响
I	不可替代且无辅助设备	不可替代但可以启用辅助设备	可替代或启用辅助设备	启用辅助性设备
E	需重新设计	需更换	坏	好
U	饱和	高	一般	低

依据公式 $CR=P \times I \times E \times U$ 得出各台设备的 CR 值，运用设备关键性评估 PIEU 原则将化工设备划分为关键、重要、支持三个等级，如表 C.2 所示。

表 C.2 设备关键等级划分定义

设备种类	等级	CR	描述
A	关键	$0 < CR \leq 3$	主要工艺设备，故障可导致生产停工
B	重要	$3 < CR \leq 25$	间歇使用的工艺设备未列入 A 类的安全设备
C	支持	$25 < CR \leq 81$	其它的设备：工艺辅助设备

C.4 应急响应

火灾爆炸事故发生后，应急响应的速度在一定程度上决定了事故后果的程度，本文中所提到的应急响应主要是指由外部应急小组对目标设备采取的减缓和冷却行动，比较紧急干预时间与设备失效时间（time to failure, TTF），以评估应急影响措施的有效性。

损伤程度评价的评价集为三个等级， $V=\{\text{严重, 中等, 轻微}\}$ ，从评价集 V 中获得最终目标设备程度评价结果，各指标划分标准如表 C.3 所示，不同损伤程度等级划分及等级内涵见表 C.4。

表 C.3 目标设备损伤程度等级表

因素/程度	严重	中等	轻微
设备危险性 u_1	>127	97~127	<96
安全屏障有效性 u_2	$0 < A < 0.5$ 或 无防爆墙	$0.5 \leq A < 1$ 或 有防爆墙且 $P \geq 20\text{kPa}$	$A \geq 1$ 或 有防爆墙且 $P < 20\text{kPa}$

设备重要性 u_3	关键	重要	支持
应急响应时间 u_4	没有被激活	EMT>TTF	EMT<TTF

表 C.4 设备损伤程度等级划分及说明

损伤程度等级	加权值	标准分值	说明
严重	1.0	(0.7, 1.0]	目标设备完全损坏，设备报废
中等	0.7	(0.3, 0.7]	目标设备部分损坏，需停产检修
轻微	0.3	(0, 0.3]	目标设备轻微损坏，检修后可立即恢复生产

中国职业安全健康协会团体标准

附录 D（规范性附录）

安全布局约束条件

D.1 楼层约束

煤气化装置的设备布置起始于某一层并终止于某一层，对于高度超过层高的设备，则占用连续的多个楼层。

$$\sum_k^{k+fl(i)-1} V_{ik} = fl(i) \cdot S_{s_{ik}} \quad \forall i = 1, \dots, N, k = 1, \dots, K \quad (D.1)$$

$$\sum_k S_{s_{ik}} = 1 \quad (D.2)$$

$$V_{ik} = S_{s_{ik}} + S_{s_{i,k-1}} \quad \forall i \in MF \quad (D.3)$$

$$N_{ij} \geq V_{ik} + V_{jk} - 1$$

$$\forall i = 1, \dots, N-1, j = i+1, \dots, N, k = 1, \dots, K, \quad (D.4)$$

$$N_{ij} \leq 1 - V_{ik} + V_{jk}$$

$$\forall i = 1, \dots, N-1, j = i+1, \dots, N, k = 1, \dots, K, \quad (D.5)$$

$$N_{ij} \leq 1 + V_{ik} - V_{jk}$$

$$\forall i = 1, \dots, N-1, j = i+1, \dots, N, k = 1, \dots, K, \quad (D.6)$$

式中：

MF —多层设备；

K —楼层；

V_{ik} —设备 i 是否分布在 k 层，如果是取 1，否则取 0；

$fl(i)$ —设备 i 占用的楼层数；

$S_{s_{ik}}$ —设备 i 是否从 k 层开始布置，如果是取 1，否则取 0；

N_{ij} —设备 i 和 j 是否分布在同一层，如果是取 1，否则取 0。

D.2 非重叠约束

为了避免两个设备项目分配到同一楼层时占用相同的物理位置，必须避免与

其他设备在 x 方向或者 y 方向有重叠，设备间距必须要大于安全距离。

$$(x_i - x_j)^2 \geq DminX_{ij}^2 Bx_{ij} \quad (D.7)$$

$$(y_i - y_j)^2 \geq DminY_{ij}^2 By_{ij} \quad (D.8)$$

$$(z_i - z_j)^2 \geq DminZ_{ij}^2 Bz_{ij} \quad (D.9)$$

$$(1 - Bz_{ij}) = Bx_{ij} + By_{ij} \quad (D.11)$$

$$DminX_{ij} = \frac{Rad_i + Rad_j}{2} + sd_{ij} \quad (D.12)$$

$$DminY_{ij} = \frac{Rad_i + Rad_j}{2} + sd_{ij} \quad (D.13)$$

$$DminZ_{ij} = \frac{r_i + r_j}{2} + sd_{ij} \quad (D.14)$$

式中：

x_i 、 y_i 、 z_i —设备 i 在 x,y,z 方向的几何坐标中心；

$DminX_{ij}$ 、 $DminY_{ij}$ 、 $DminZ_{ij}$ —设备 i 和 j 在 x,y,z 方向的距离；

Bx_{ij} —对于 xy 平面上的投影，如果取 1，则 i 和 j 在 x 坐标上投影；否则，在 y 坐标上投影；

By_{ij} —对于 xy 平面上的投影，如果取 1，则 i 和 j 在 y 坐标上投影；否则，在 x 坐标上投影；

Bz_{ij} —如果取 1，则通过 z 坐标上的投影强制执行非重叠约束；否则，单元 i 和 j 的非重叠约束将被强制执行到 xy 平面上；

sd_{ij} —设备表面之间的防火间距；

Rad_i —设备 i 的内径；

r_i —设备 i 的高度。

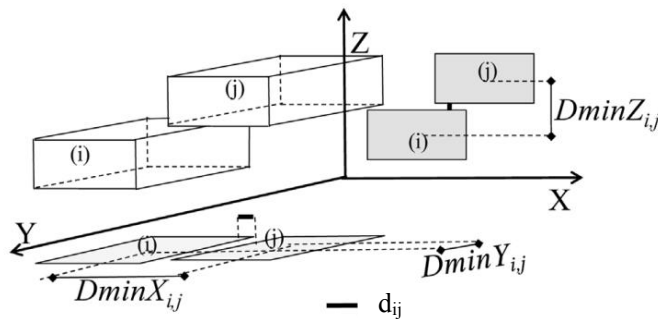
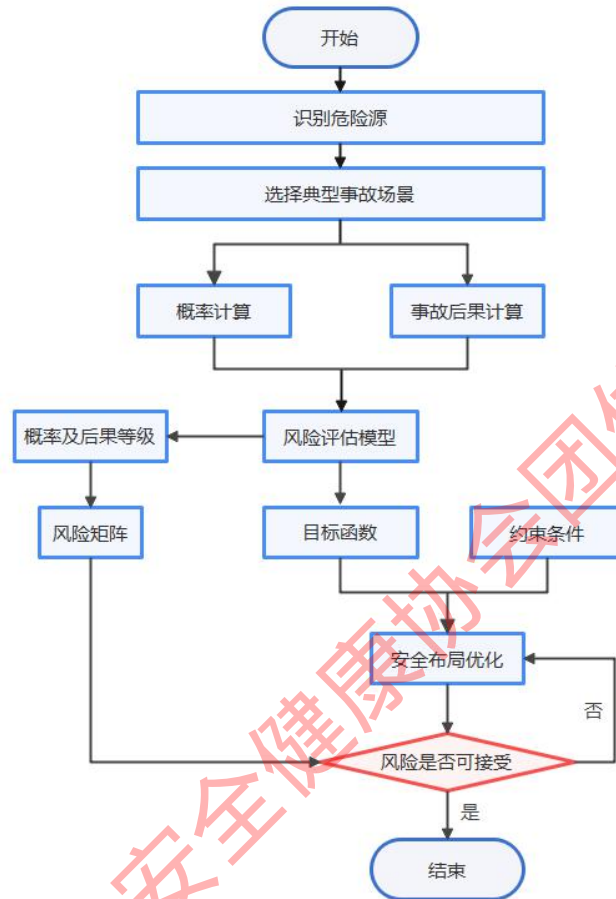


图 D.1 三维空间中每个坐标单位 i、j 之间的最小间距

附录 E（资料性附录）

布局安全优化方法计算流程



E.1 安全布局优化方法计算流程图