

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39173—2020

---

## 智能工厂 安全监测有效性评估方法

Smart factory—The effectiveness assessment methods of safety monitoring

2020-10-11 发布

2021-05-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 前言 .....                 | III |
| 引言 .....                 | IV  |
| 1 范围 .....               | 1   |
| 2 规范性引用文件 .....          | 1   |
| 3 术语和定义 .....            | 1   |
| 4 缩略语 .....              | 3   |
| 5 一般要求 .....             | 3   |
| 5.1 目的 .....             | 3   |
| 5.2 开展有效性评估的阶段 .....     | 3   |
| 5.3 人员要求 .....           | 3   |
| 5.4 探测器评估要求 .....        | 4   |
| 5.5 评估技术 .....           | 4   |
| 5.6 评估流程 .....           | 4   |
| 5.7 评估工具 .....           | 6   |
| 5.8 数据收集 .....           | 6   |
| 5.9 评估报告 .....           | 6   |
| 6 火焰探测器安全监测有效性评估 .....   | 7   |
| 6.1 评估要求 .....           | 7   |
| 6.2 危险类型辨识 .....         | 7   |
| 6.3 定义火灾区域 .....         | 7   |
| 6.4 覆盖率目标定义 .....        | 8   |
| 7 可燃气体探测器安全监测有效性评估 ..... | 8   |
| 7.1 评估要求 .....           | 8   |
| 7.2 危险类型辨识 .....         | 8   |
| 7.3 定义风险区域 .....         | 9   |
| 7.4 CFD 计算和输入 .....      | 9   |
| 7.5 覆盖率目标定义 .....        | 10  |
| 8 有毒气体探测器安全监测有效性评估 ..... | 10  |
| 8.1 评估要求 .....           | 10  |
| 8.2 危险类型辨识 .....         | 11  |
| 8.3 定义风险区域 .....         | 11  |
| 8.4 CFD 计算和输入 .....      | 12  |
| 8.5 覆盖率目标定义 .....        | 13  |
| 9 超声探测器安全监测有效性评估 .....   | 13  |
| 9.1 目的 .....             | 13  |
| 9.2 危险类型辨识 .....         | 13  |

## GB/T 39173—2020

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 9.3 定义风险区域 .....                   | 13 |
| 9.4 覆盖率目标 .....                    | 14 |
| 附录 A (资料性附录) 探测器覆盖评估技术 .....       | 15 |
| 附录 B (资料性附录) 典型设备的泄漏频率 .....       | 18 |
| 附录 C (资料性附录) 三维数字化模型 .....         | 20 |
| 附录 D (资料性附录) CFD 计算流程和方法 .....     | 22 |
| 附录 E (资料性附录) 智能工厂感温火灾探测器适用区域 ..... | 25 |
| 附录 F (资料性附录) 典型烃类装置的火灾区域分级表 .....  | 26 |
| 附录 G (资料性附录) 场景分析法中的泄漏量定义 .....    | 28 |
| 参考文献 .....                         | 29 |
| 图 1 安全监测有效性评估流程 .....              | 5  |
| 图 2 风险层深度示意图 .....                 | 9  |
| 图 3 有毒气体风险层深度示意图 .....             | 12 |
| 图 A.1 氨气压缩机气体风险层和气体探测覆盖情况 .....    | 16 |
| 图 A.2 氨气压缩机火焰风险层和火焰探测覆盖情况 .....    | 16 |
| 图 C.1 三维模型正面图(*.dgn 格式) .....      | 20 |
| 图 C.2 三维模型 45°俯视图(*.dgn 格式) .....  | 20 |
| 图 C.3 三维模型俯视图(*.dgn 格式) .....      | 21 |
| 图 D.1 划分固体网格 .....                 | 22 |
| 图 D.2 基于场景计算出的平均风速 .....           | 23 |
| 图 F.1 烃类装置的火灾区域风险层示意图 .....        | 27 |
| 图 G.1 2.5 kg/s 甲烷释放示意图 .....       | 28 |
| 表 1 火灾区域等级 .....                   | 7  |
| 表 2 火焰探测器覆盖率目标值 .....              | 8  |
| 表 3 可燃气体气云尺寸 .....                 | 9  |
| 表 4 风险层深度 .....                    | 9  |
| 表 5 可燃气体探测器覆盖率目标值 .....            | 10 |
| 表 6 有毒气体云团尺寸 .....                 | 11 |
| 表 7 有毒气体风险层深度 .....                | 11 |
| 表 8 有毒气体探测器覆盖率目标值 .....            | 13 |
| 表 9 噪声区域、探测器报警阈值与检测范围分类 .....      | 14 |
| 表 10 超声探测器有效性评估目标值 .....           | 14 |
| 表 B.1 压力容器的泄漏频率 .....              | 18 |
| 表 B.2 常压储罐的泄漏频率 .....              | 18 |
| 表 B.3 泵阀的泄漏频率 .....                | 18 |
| 表 B.4 压缩机的泄漏频率 .....               | 18 |
| 表 B.5 管路及管线的泄漏频率 .....             | 19 |
| 表 B.6 过滤器的泄漏频率 .....               | 19 |
| 表 B.7 其他设备的泄漏频率 .....              | 19 |
| 表 F.1 典型烃类装置的火灾区域分级表 .....         | 26 |

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会(SAC/TC 124)归口。

本标准起草单位：中国石油管道局工程有限公司设计分公司、机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、梅思安(中国)安全设备有限公司、上海合含科技有限公司、北京能源集团有限责任公司、中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院、中国石油天然气股份有限公司安全环保技术研究院、中石化广州工程有限公司、中石化石油工程设计有限公司、郑州吉地艾斯仪器有限公司、北京力拓节能工程技术有限公司、北京星火博安智能科技有限公司、华测检测认证集团股份有限公司、北京市劳动保护科学研究所、南京航空航天大学、清华大学、中石油管道有限责任公司西气东输分公司、中国石油天然气股份有限公司西部管道分公司、中国石油天然气股份有限公司西南管道分公司。

本标准主要起草人：卜志军、李麟、刘瑶、朱明露、汪涛、戴叶、潘宇、李玉明、张志凌、王怀义、史学玲、文科武、纪志军、杨炳雄、刘海峡、关天罡、金生祥、梅东升、马万军、徐德腾、罗方伟、梁爽、马云鹏、沙蓓蓓、陈涛、王永福、刘攀超、李锴、肖连、陈超声、陈小华、靳江红、赵劲松、张黎明、姜巍巍、张卫华、王刚、柳晓菁。



# 引 言

本标准的目的是给出智能工厂的安全监测有效性评估的方法。该方法采用计算机模拟仿真等智能手段,保障探测器满足智能工厂使用环境的需求,为今后开展安全监测有效性评估提供适当的参考。安全监测有效性评估采用定量的方法,计算火焰、可燃气体、有毒气体等探测器的覆盖率,对探测器布点设计进行验证、优化。是预防危险事故发生及控制后果严重性的有效手段。它的优点是:

- 与定性分析相比较,可以提供量化的覆盖率及布局方案,避免主观因素对安全监测有效性的影响;
- 虽然定量分析过程复杂,但其结果精确,在定性分析之后可以应用该方法对分析结论进行优化;
- 利用三维设计成果开展评估,并提供可视化的分析过程和结果。

安全监测有效性是进行安全监测系统功能安全完整性评估的先决条件,是安全监测系统有效性的重要组成部分。

通过安全监测有效性评估能实现对涉及火焰、可燃气体、有毒气体泄漏的行业的可靠、及时的监测。



# 智能工厂 安全监测有效性评估方法

## 1 范围

本标准规定了安全监测有效性评估方法的一般要求,火焰、可燃气体、有毒气体和超声探测器安全监测有效性评估的方法。

本标准适用于石油、石油化工、天然气领域的智能工厂对火焰、可燃气体、有毒气体和超声的安全监测进行有效性评估。其他领域的智能工厂可参照执行。

## 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 50116—2013 火灾自动报警系统设计规范

GB/T 50493—2019 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**可燃气体 flammable gas**

甲类气体或甲、乙<sub>A</sub>类可燃液体汽化后形成的可燃气体或可燃蒸气。

注 1: 又称易燃气体。

注 2: 改写 GB/T 50493—2019,定义 2.0.1。

### 3.2

**有毒气体 toxic gas**

劳动者在职业活动过程中,通过皮肤接触或呼吸可导致死亡或永久性健康伤害的毒性气体或毒性蒸气。

[GB/T 50493—2019,定义 2.0.2]

### 3.3

**释放源 source of release**

可释放并能形成爆炸性气体环境、毒性气体环境的位置或地点。

[GB/T 50493—2019,定义 2.0.3]

### 3.4

**探测器 detector**

将可燃气体、有毒气体或氧气的浓度转换为电信号的电子设备。

注 1: 又称检测器。

注 2: 改写 GB/T 50493—2019,定义 2.0.4。

### 3.5

**安全监测 safety monitoring**

智能工厂中用于火焰、可燃气体、有毒气体的监视和检测。



GB/T 39173—2020

注：安全监测具备以下两个基本功能：

- 检测火焰、可燃气体和有毒气体的泄漏；
- 为触发报警及后续动作提供依据。

3.6

**安全监测系统 safety monitoring system**

智能工厂中由火焰、可燃气体、有毒气体检测器、警报器、控制系统构成，具有报警、联锁保护功能，实现降低工厂安全风险的系统。

3.7

**场景 scenario**

物质在即定位置，受温度、压力、流速及风向、风速影响的条件下，发生的泄漏。

3.8

**探测器空间覆盖率 detector geographic coverage**

探测器有效保护区域与目标保护区域的体积比率。

注：也称探测器静态覆盖率。

3.9

**探测器场景覆盖率 detector scenario coverage**

探测器有效捕获泄漏场景与所有泄漏场景的比率。

注：也称探测器动态覆盖率。

3.10

**安全监测有效性 the effectiveness of safety monitoring**

通过覆盖率计算得出有效性的量化结果。

3.11

**封闭空间 enclosed area or mostly-enclosed area**

与外界隔绝或空气流通不畅的空间。

3.12

**部分封闭空间 part-enclosed area or congested area**

有两个或两个以上敞开面的空间。

注：格栅式的地板和天花板按照敞开面考虑。

3.13

**开放空间 open area**

不属于封闭空间和部分封闭空间的三维空间，并且其尺寸足以容许人员进入。

3.14

**探测器布局 mapping**

根据已确定的危险场景，采用模拟仿真等方法量化探测器的覆盖率，优化探测器的布局。

3.15

**风险层 risk layer**

距离释放源目标设备表面一定距离以内的空间。

3.16

**职业接触限值 occupational exposure limits; OELs**

劳动者在职业活动中长期反复接触，对绝大多数接触者的健康不引起有害作用的容许接触水平。

注 1：化学因素的职业接触限值分为最高容许浓度、短时间接触容许浓度和时间加权平均容许浓度三种。

注 2：改写 GBZ 2.1—2019, 定义 3.5。

## 3.17

**最高允许浓度** maximum allowable concentration; MAC

工作地点在一个工作日内、任何时间有毒化学物质均不应超过的浓度。

[GB/T 50493—2019, 定义 2.0.15]

## 3.18

**短时间接触容许浓度** permissible concentration-short term exposure limit; PC-STEL

在遵守时间加权平均容许浓度(PC-TWA)前提下容许短时间(15 min)接触的浓度。

[GB/T 50493—2019, 定义 2.0.17]

## 3.19

**时间加权平均容许浓度** permissible concentration-time weighted average; PC-TWA

以时间为权数规定的 8 h 工作日、40 h 工作周的平均容许接触浓度。

[GB/T 50493—2019, 定义 2.0.16]

## 3.20

**智能工厂** smart factory

在数字化工厂的基础上,利用物联网技术和监控技术加强信息管理和服务,提高生产过程可控性、减少生产线人工干预,以及合理计划排程。同时集智能手段和智能系统等新兴技术于一体,构建高效、节能、绿色、环保、舒适的人性化工厂。

## 3.21

**气体浓度** gas concentration

每立方米大气中气体的摩尔质量数。

注:也称为质量—体积浓度,单位为毫克每立方米( $\text{mg}/\text{m}^3$ )或克每立方米( $\text{g}/\text{m}^3$ )。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CFD:计算流体力学(Computational Fluid Dynamics)

LEL:爆炸下限(Lower Explosive Limit)

1ooN:从  $N$  中取 1(1 out of  $N$ ,  $N$  表示某个区域内,用于表决逻辑的探测器的数量)

2ooN:从  $N$  中取 2(2 out of  $N$ ,  $N$  表示某个区域内,用于表决逻辑的探测器的数量)

## 5 一般要求

## 5.1 目的

安全监测有效性评估方法,需在适用阶段、人员、探测器选用、技术、流程、工具、数据收集和报告等方面提出要求,从而保证安全监测有效性评估的可操作性以及评估结果的真实有效、可追溯。

## 5.2 开展有效性评估的阶段

5.2.1 新建工程安全监测有效性评估应在初步设计阶段或施工图阶段进行实施,并在投产前确认。

注:有效性评估具体实施阶段受限于项目数据收集及输入条件。

5.2.2 改扩建工程涉及安全监测对象或监测区域发生变化时,应进行安全监测有效性评估。

5.2.3 每隔五年应至少进行一次定期复审,确保安全监测在整个生命周期内满足有效性要求。

## 5.3 人员要求

5.3.1 有效性评估组成员应独立于项目组成员,项目设计的人员和运行人员应配合评估组参与评估

## GB/T 39173—2020

活动。

5.3.2 有效性评估组成员应掌握安全监测有效性评估方法,并按照本标准要求开展评估工作。

### 5.4 探测器评估要求

5.4.1 结合智能工厂需求应合理选用探测器,是安全监测有效性评估实施的前提。

5.4.2 火焰探测器其选型及适用范围按照 GB 50116—2013 执行。

5.4.3 可燃气体探测器(红外原理、催化燃烧原理、激光原理等)、有毒气体探测器(电化学、金属氧化物半导体、激光原理等),其选型及适用范围应按照 GB/T 50493—2019 执行。

5.4.4 带压气体泄漏可采用超声探测器对声压等级变化进行监测,其选型应采用声学传感器。

### 5.5 评估技术

5.5.1 安全监测有效性评估技术有空间分析法、场景分析法。这两种技术的详细说明参见附录 A。

5.5.2 空间分析法根据探测器参数或设计要求,采用计算机辅助方法确定探测器在工厂下的空间覆盖率。

5.5.3 场景分析法应根据探测器参数,结合设备及建/构筑物布置、释放源的理化特性、泄漏频率和空气流动等特点,采用数值模拟及计算机辅助分析方法确定探测器在工厂下的场景覆盖率。典型设备的泄漏频率参见附录 B。

5.5.4 火焰探测器、超声探测器应采用空间分析法进行有效性评估。

5.5.5 可燃气体探测器、有毒气体探测器宜采用场景分析法进行有效性评估。空间分析法仅适用于需要保护区域或设备本身泄漏的覆盖率分析,不适用于扩散气体泄漏覆盖率分析。

注:空间分析法在不深入考虑空气流动影响的场景下执行,适用于室内、设备密集的场所、装置内空间狭小的地方,结构简单的设备,但对存在空气流动的场景下完全用空间分析可能产生误导。

### 5.6 评估流程

安全监测有效性评估流程参考图 1。



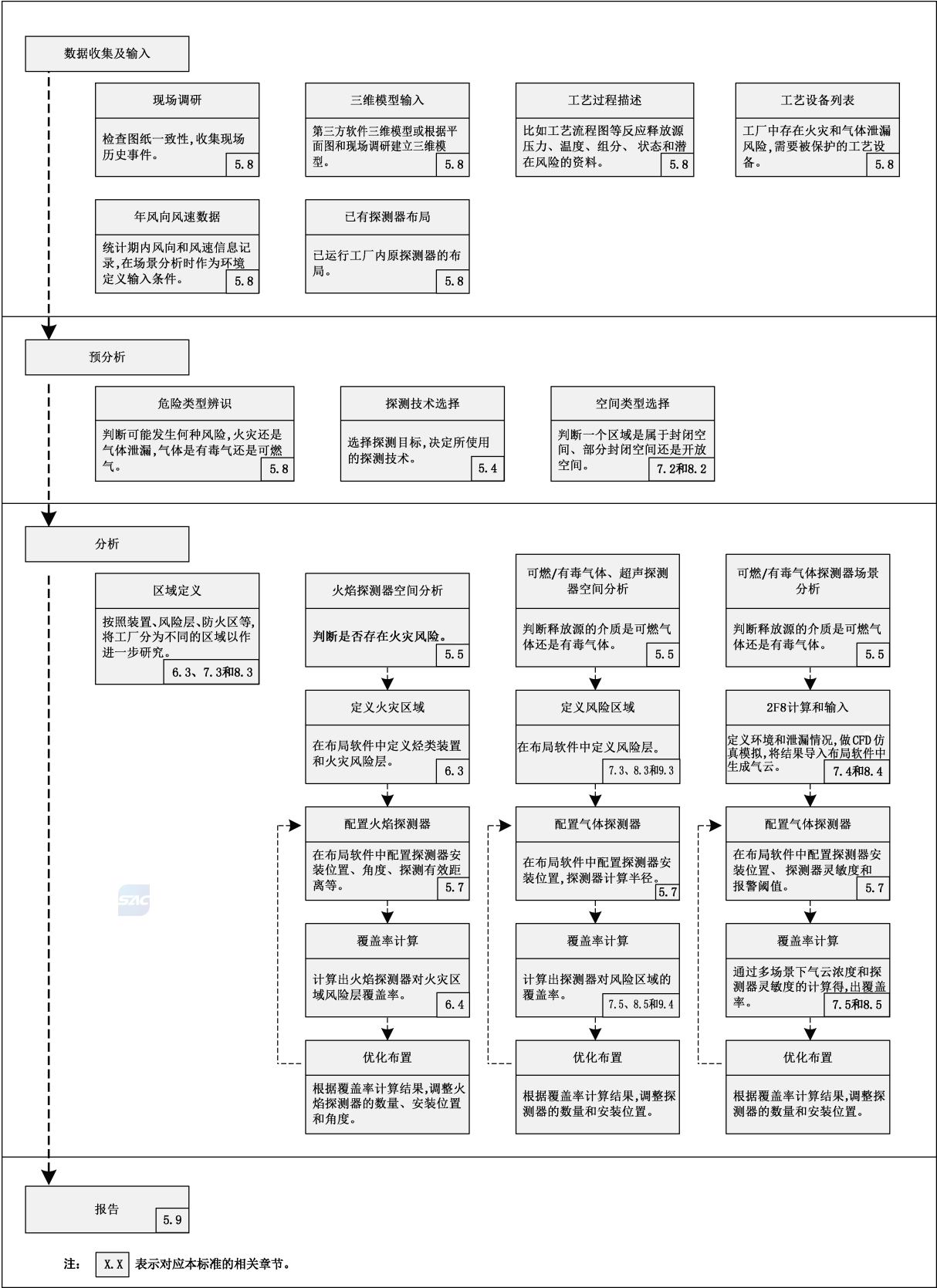


图 1 安全监测有效性评估流程

## GB/T 39173—2020

## 5.7 评估工具

安全监测有效性评估工具应包括：三维数字化模型搭建软件、计算流体动力学(CFD)仿真软件和探测器布局软件。

探测器布局软件能够利用三维数字化模型和计算流体动力学(CFD)仿真结果开展计算,将探测器的位置和覆盖范围进行可视化展示,并输出量化分析结果。三维数字化模型的搭建方法参见附录 C,计算流体动力学计算方法参见附录 D。

## 5.8 数据收集

在进行安全监测有效性评估前,应收集以下资料:

- 工艺及仪表控制流程图;
- 介质参数及工艺参数表;
- 物料平衡组分报告;
- 工厂总图;
- 爆炸危险区域划分图;
- 防火分区图;
- 设备、设施平面布置图;
- 探测器安装高度;
- 探测器平面布置图;
- 安全监测系统设置原则;
- 风险量化报告、风险量化表、事件树图;
- 工厂三维模型;
- 已运行工厂历史安全事件/事故信息采集;
- 探测器性能参数;
- 探测器安装角度(适用于火焰探测器开展有效性评估);
- 大气压力、平均温度、风向和风速的历史数据(适用于可燃、有毒气体探测器采用场景分析法开展有效性评估);
- 区域内可闻声背景噪声及超声背景噪声(适用于超声探测器开展有效性评估)。

注 1: 已建工厂,宜进行现场勘察,以确保竣工图纸的准确性。

注 2: 新建工厂,及时收集与评估相关的工程变更资料,以确保数据收集的准确性。

## 5.9 评估报告

安全监测有效性评估完成后,应根据评估过程形成对应的评估报告,并正式记录形成档案。报告内容应包括:

- 工程概况;
- 分析流程描述;
- 三维模型搭建及坐标定义;
- 安全监测有效性目标定义;
- 危险源及危险区域的定义;
- 探测器设置及参数定义;
- 泄漏定义和环境定义(适用于可燃、有毒气体探测器采用场景分析法开展安全监测有效性评估);
- 背景噪声定义(适用于超声探测器安全监测有效性评估);
- 探测器覆盖率结果;
- 建议和优化方案。

6 火焰探测器安全监测有效性评估

6.1 评估要求

- 6.1.1 火焰探测器有效性评估一般要求应遵循第 5 章内容。
- 6.1.2 火焰探测器有效性评估需要在危险类型辨识、定义火灾区域、覆盖率计算等方面提出具体要求。

6.2 危险类型辨识

实施安全监测应对以下参数进行考虑：

- 潜在泄漏源；
- 火灾的频率。

注：设备或设施严重拥挤区域的火焰探测，可以考虑减小监测对象区域范围和安装更多的探测器来满足覆盖范围的要求，或者采用感温火灾探测器作为辅助检测手段。感温火灾探测器选型遵照 GB 50116—2013，其适用范围可参见附录 E。

6.3 定义火灾区域

6.3.1 典型烃类装置的火灾区域分级

- 6.3.1.1 烃类装置是用于加工、运输或储存碳氢化合物流体（如石油、天然气、冷凝物、大量柴油燃料或甲醇）的装置或区域，但不包括：
  - 生产、工艺、钻井、公用设施或生活区外的管道；
  - 燃气涡轮机箱和其他类似的机械外壳。
- 6.3.1.2 在发生火灾可能会导致中等或严重后果的烃类装置内设备周边空间即被定义为Ⅰ级。火灾可能会由以下任何一种情况或其组合引起：
  - 燃料（例如，来自压缩机的高压气体或易燃液体）；
  - 确定的火灾风险源（例如，泵和压缩机上的小口径管道或单一密封件）。
- 6.3.1.3 在发生火灾可能会导致一般后果的烃类装置内设备周边空间被定义为Ⅱ级，相对Ⅰ级而言，此区域空间火灾严重性较小。
- 6.3.1.4 烃类装置内，Ⅱ级的空间定义适用于以下情况：
  - 燃料闪点高于 60 ℃；
  - 释放压力小于 0.1 MPa；
  - 液体燃料池的表面积小于 50 m<sup>2</sup>。
- 6.3.1.5 未分类烃类装置内的空间，分为以下两种情况：
  - Ⅰ级或Ⅱ级不适用；
  - 没有任何危险燃料源。
- 6.3.1.6 现场设备危险区域和火灾区域等级，可按照表 1 进行划分。

表 1 火灾区域等级

| 等 级 | 火灾区域定义              |
|-----|---------------------|
| Ⅰ   | 烃类装置，火灾严重性：中等到严重    |
| Ⅱ   | 烃类装置，火灾严重性：一般       |
| 未分类 | 不适用Ⅰ类、Ⅱ类区域或无任何危险燃料源 |



GB/T 39173—2020

6.3.1.7 典型烃类装置的火灾区域分级参见附录 F 的表 F.1。

6.3.2 确认火灾区域等级

应对烃类装置内的独立设备和特定系统是否存在易燃液体释放和火灾升级的可能性进行评估,包括 6.3.1 中涉及的Ⅰ级,Ⅱ级以及未分类的空间进行评估。

6.3.3 风险层

6.3.3.1 Ⅰ级区域的风险层是从设备或相关液体容器的表面向外延伸至少 2 m 的空间,如设备靠近防火墙,则外延空间不超过防火墙。

6.3.3.2 如果Ⅰ级区域风险层的边界过于靠近防火分区的边界,则考虑将其边界延伸至防火分区的边界。防火分区的边界通常是防火墙或开放的空间。

6.3.3.3 Ⅰ级区域的风险层应包含在Ⅱ级区域的风险层中,除非其已经在防火分区的边界处。

6.3.3.4 Ⅱ级区域的风险层是从设备或相关液体容器的表面或从Ⅰ级区域风险层的边界向外延伸至少 3 m 空间(取决于哪个边界大),如设备靠近防火分区,则外延空间不超过防火分区的边界。

6.3.3.5 火灾区域的风险层示意图参见附录 F 的图 F.1。

6.4 覆盖率目标定义

用户应对每个区域的探测覆盖率要求予以定义。如没有提出具体要求时,在用户认可下采用表 2 中覆盖率目标值作为相关风险等级的目标值。

表 2 火焰探测器覆盖率目标值

| 等 级                              | 覆盖率目标值(1ooN) | 覆盖率目标值(2ooN) |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| Ⅰ                                | 80 %         | 60 %         |
| Ⅱ                                | 60 %         | 不做要求         |
| 注: 当不要求联锁时,Ⅱ级区域覆盖率目标值(2ooN)不做要求。 |              |              |

7 可燃气体探测器安全监测有效性评估

7.1 评估要求

7.1.1 可燃气体探测器有效性评估一般要求应遵循第 5 章内容。

7.1.2 可燃气体探测器有效性评估需要在以下方面提出具体要求:

- 危险类型辨识;
- 定义风险区域(仅适用于空间分析法);
- CFD 计算和输入(仅适用于场景分析法);
- 覆盖率计算。



7.2 危险类型辨识

实施安全监测应对以下参数进行考虑:

- 释放源所在位置、范围;
- 释放源气体组分;
- 释放源温度、压力。

7.3 定义风险区域

7.3.1 目标气云尺寸

可燃气体气云尺寸选择可照表 3。

表 3 可燃气体气云尺寸

| 空间类型   | 气云直径<br>m |
|--|-----------|
| 封闭空间   | 5         |
| 半封闭空间  | 7         |
| 开放空间   | 10        |
| 注：气体的浓度均达到 100% LEL 水平,气云尺寸、浓度与泄漏量的关系参见附录 G。 |           |

7.3.2 风险层

风险层深度示意如图 2 所示,选择可照表 4。

表 4 风险层深度

| 空间类型  | 风险层深度<br>m |
|-------|------------|
| 封闭空间  | 2          |
| 半封闭空间 | 1          |
| 开放空间  | 1          |

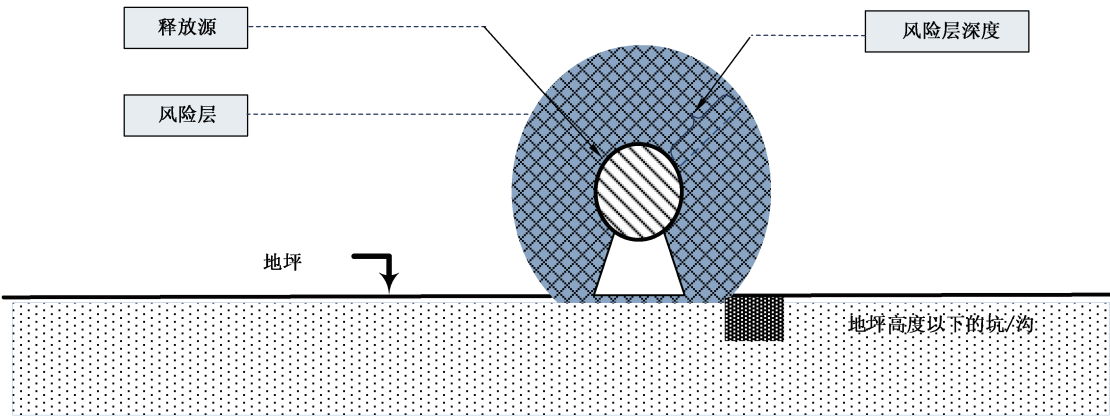


图 2 风险层深度示意图

7.4 CFD 计算和输入

7.4.1 区域和释放源的选定

根据物理位置不同,工厂内可划分一个或多个区域。区域内部可能存在同一种或多种释放源,当分析不同释放源的泄漏时,需分别执行。

7.4.2 泄漏量的定义

根据 7.3.2 中气云的直径结合风速以及 LEL 的浓度级别,按式(1)计算出形成目标直径气云所需的气体泄漏量:

$$Q=\frac{d^2\times f\times t\times\rho\times s\times\pi}{4}\dots\dots\dots(1)$$

- 式中:
- Q ——气体泄漏量,单位为千克每秒(kg/s);
  - d ——气云直径,单位为米(m);
  - f ——100%LEL 对应气体体积比;
  - t ——目标 LEL 百分比;
  - ρ ——泄漏气体密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
  - s ——风速,单位为米每秒(m/s)。

注: 通常 LEL 百分比取 50%作为计算量。

7.4.3 泄漏位置的定义

- 如无用户的补充需求,泄漏位置可定义如下:
- 气体压缩机和液体泵的动密封;
  - 液体采样口和气体采样口;
  - 液体或气体排液(水)口和放空口;
  - 经常拆卸的法兰和经常操作的阀门组。在异常运行时可能泄漏甲类气体,液化烃的设备或管法兰,阀门组。

7.4.4 环境变量的定义

环境变量包括大气压力、风速、风向和平均温度。

风向和风速对气体扩散影响显著,而大气压力和温度在一定范围内对气体扩散影响相对较小。

气体探测器的场景分析应基于实例,其中每种情况具有固定的温度、大气压力、风速、风向、泄漏位置和泄漏量等特定条件,对不同环境下的场景需要分开定义。

示例:某地区年平均气温为 20℃,大气压力为标准大气压,且有 8 个风向和 1 个风速定义,环境定义数目为:8(风向)× 1(风速)=8 环境定义。

7.5 覆盖率目标定义

用户应对每个区域的探测覆盖率要求予以定义,如没有提出具体要求时,在用户认可下可以采用表 5 中覆盖率目标值作为相关风险等级要求。

表 5 可燃气体探测器覆盖率目标值

| 覆盖率目标值(100N) | 覆盖率目标值(200N) |
|--------------|--------------|
| 80%          | 60%          |

8 有毒气体探测器安全监测有效性评估

8.1 评估要求

8.1.1 有毒气体探测器有效性评估一般要求应遵循第 5 章内容。

8.1.2 有毒气体探测器有效性评估需要在以下方面提出具体要求：

- 危险类型辨识；
- 定义风险区域(仅适用于空间分析法)；
- CFD 计算和输入(仅适用于场景分析法)；
- 覆盖率计算。

8.2 危险类型辨识

实施安全监测应对以下参数进行考虑：

- 释放源所在位置、范围；
- 释放源气体组分；
- 释放源温度、压力。

8.3 定义风险区域

8.3.1 目标气云尺寸

有毒气体云团尺寸选择可照表 6。

表 6 有毒气体云团尺寸

| 空间类型                                     | 气云直径<br>m |
|--|-----------|
| 封闭空间                                     | 4         |
| 部分封闭空间                                   | 4         |
| 开放空间                                     | 8         |
| 注：气体浓度达到最高允许浓度或短时间接触容许浓度(MAC/PC-STEL)水平。 |           |

8.3.2 风险层

风险层深度示意如图 3 所示,风险层深度选择可照表 7。

表 7 有毒气体风险层深度

| 空间类型   | 风险层深度<br>m |
|--------|------------|
| 封闭空间   | 1          |
| 部分封闭空间 | 1          |
| 开放空间   | 1          |

GB/T 39173—2020

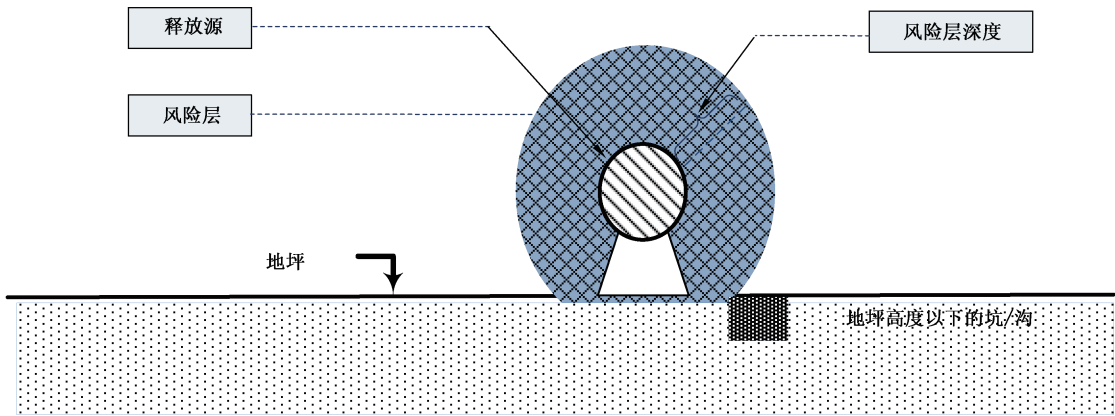


图 3 有毒气体风险层深度示意图

8.4 CFD 计算和输入

8.4.1 区域和释放源的选定

根据物理位置不同,工厂内可划分一个或多个区域。区域内部可能存在同一种或多种释放源,当分析不同释放源的泄漏时,需分别执行。

8.4.2 泄漏量的定义

根据 8.3.2 中气云的直径结合风速以及目标有毒气体的最高允许浓度或短时间接触容许浓度 (MAC/PC-STEL),按式(2)计算出形成目标直径气云所需的有毒气体泄漏量:

$$Q = \frac{d^2 \times c \times \rho \times s \times \pi}{4} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- Q ——气体泄漏量,单位为千克每秒(kg/s);
- d ——气云直径,单位为米(m);
- c ——MAC/PC-STEL 对应气体体积比;
- ρ ——泄漏气体密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
- s ——风速,单位为米每秒(m/s)。

8.4.3 泄漏位置定义

- 如无用户的补充需求,泄漏位置可定义如下:
- 气体压缩机和液体泵的动密封;
  - 液体采样口和气体采样口;
  - 液体或气体排液(水)口和放空口;
  - 经常拆卸的法兰和经常操作的阀门组。在异常运行时可能泄漏甲类气体,液化烃的设备或管法兰,阀门组。

8.4.4 环境变量的定义

环境变量包括大气压力、风速、风向和平均温度。  
风向和风速对气体扩散影响显著,而大气压力和温度在一定范围内对气体扩散影响相对较小。



气体探测器的场景分析应基于实例,其中每种情况具有固定的温度、大气压力、风速、风向、泄漏位置和泄漏量等特定条件,对不同环境下的场景需要分开定义。

示例:某地区年平均气温为 20℃,大气压力为标准大气压,且有 8 个风向和 1 个风速定义,环境定义数目为:8(风向)×1(风速)=8 环境定义。

8.5 覆盖率目标定义

用户应对每个区域的探测覆盖率要求予以定义。如没有提出具体要求时,在用户认可下可以采用表 8 中覆盖率目标值作为相关风险等级要求。

表 8 有毒气体探测器覆盖率目标值

| 覆盖率目标值(100N) | 覆盖率目标值(200N) |
|--------------|--------------|
| 80%          | 60%          |

9 超声探测器安全监测有效性评估

9.1 目的

- 9.1.1 超声探测器有效性评估一般要求应遵循第 5 章内容。
- 9.1.2 超声探测器有效性评估需要在危险类型辨识、定义火灾区域、覆盖率计算等方面提出具体要求。

9.2 危险类型辨识

实施安全监测应对以下参数进行考虑:

- 释放源;
- 释放源的压力、泄漏孔径和泄漏量。

注:释放源指压力不低于 1 MPa 时,泄漏孔径不小于 4 mm,泄漏量不低于 0.1 kg/s 的气体。常见气体种类可参见 GB/T 50493—2019 的附录 A 中常见易燃气体、蒸汽特性表。

9.3 定义风险区域

9.3.1 计算参数选择



采用空间法分析时需要考虑如下要素:

- 噪声区域;
- 报警阈值;
- 检测范围。

9.3.2 目标区域设置

超声探测器的检测效果受背景噪声(包括可闻背景噪声与超声背景噪声)干扰影响较大。不同背景噪声区域、报警阈值直接决定了超声探测器的有效覆盖半径。按照声压级,背景噪声分为高背景噪声、中等背景噪声和低背景噪声,推荐按照表 9 进行分类(以测量氮气和甲烷为例)。

表 9 噪声区域、探测器报警阈值与检测范围分类

| 声 源  | 高背景噪声区域 | 中等背景噪声 | 低背景噪声 |
|--|---------|--------|-------|
| 可闻背景噪声/dB                                  | 90~100  | 60~90  | 40~60 |
| 超声背景噪声/dB                                  | <78     | <68    | <58   |
| 报警阈值/dB                                    | 84      | 74     | 64    |
| 检测范围/m                                     | 10      | 15     | 20    |
| 注 1：超声探测器的报警阈值应考虑背景噪声，报警阈值至少要高于超声背景噪声 6dB。 |         |        |       |
| 注 2：检测范围为超声探测器的有效覆盖半径。                     |         |        |       |

9.4 覆盖率目标

用户应对每个区域的探测覆盖率要求予以定义。如没有提出具体要求时，在用户认可下可以采用表 10 中覆盖率目标值作为相关风险等级要求。

表 10 超声探测器有效性评估目标值

| 覆盖率目标值(1ooN) | 覆盖率目标值(2ooN,如需要) |
|--------------|------------------|
| 90%          | 60%              |



附录 A  
(资料性附录)  
探测器覆盖评估技术

A.1 探测器覆盖评估技术特点

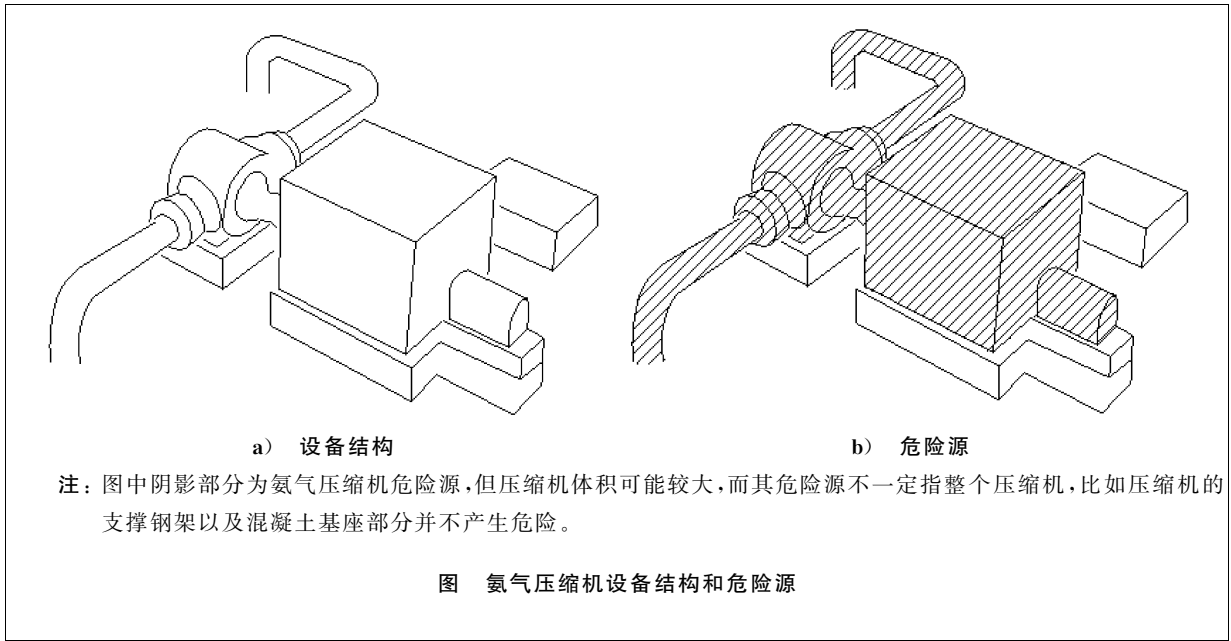
在 ISA TR84.00.07 中,给出了 2 种不同的评估技术,一种称为空间分析法(Geographic Assessment),另一种称为场景分析法(Scenario Assessment)。空间分析法采用的是几何算法,比如火焰探测器,通过计算其所能照射的锥体范围得出覆盖率;而对于气体探测器,则选择覆盖半径来计算覆盖率。空间分析法的特点是计算量小,比较容易执行,但缺点是精确性低,覆盖半径小,通常需要布置更多的探测器来达到比较好的覆盖效果。场景分析法的特点是侧重于对气体探测器的设计布置分析,其计算量大,实际执行时有一定的挑战性。优点是精确性高,直接针对目标气体,优化后的探测器配置方案包括探测器数量和布置都会更贴近于实际工况。目前,场景分析法对于气体探测器是最先进的评估技术。

A.2 空间分析法

空间分析法评估步骤如下:

a) 目标定义:目标是指装置中需要被保护的物体以及对象的属性。

示例:以一台氨气压缩机为例,这台压缩机本身就是需要被保护的物体。因为压缩机本身具有危险性,其危险性来源于氨气的毒性、爆炸性以及压缩机内部的高压。具体可参见氨气压缩机设备结构和危险源。



b) 确定风险层:按照一定的距离,生成环绕覆盖危险源的风险层。例如 I 级风险层,可以是距离保护目标的表面 0 m~2 m 的空间;相应地,II 级风险层,可以是距离保护目标的表面 2 m~5 m 的空间。通常国外企业根据各自标准对“距离”进行定义。具体可参见图 A.1 和图 A.2。



GB/T 39173—2020

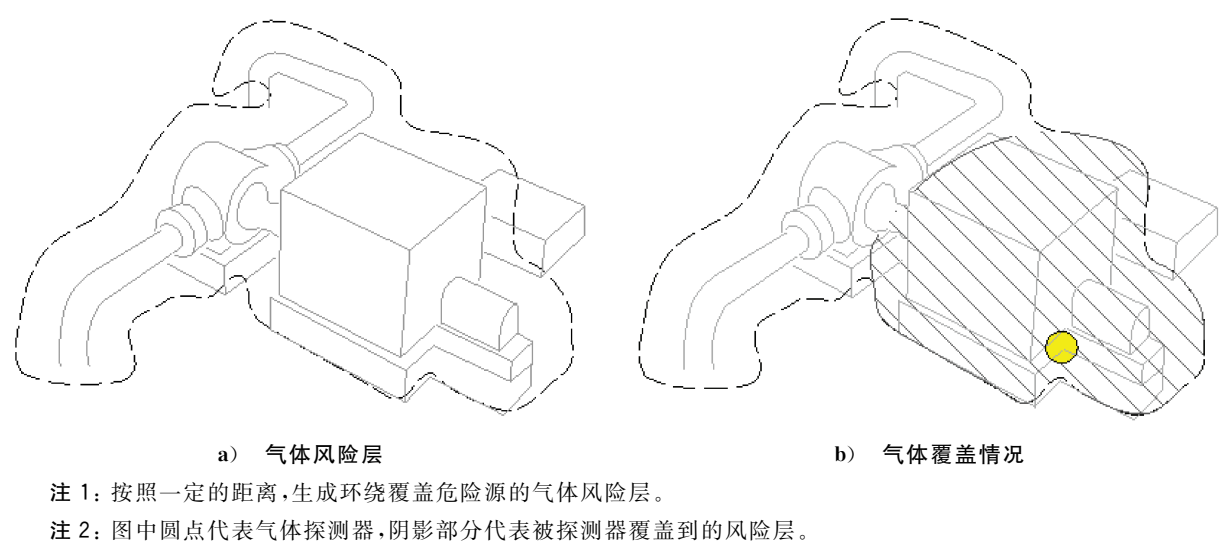


图 A.1 氨气压缩机气体风险层和气体探测覆盖情况

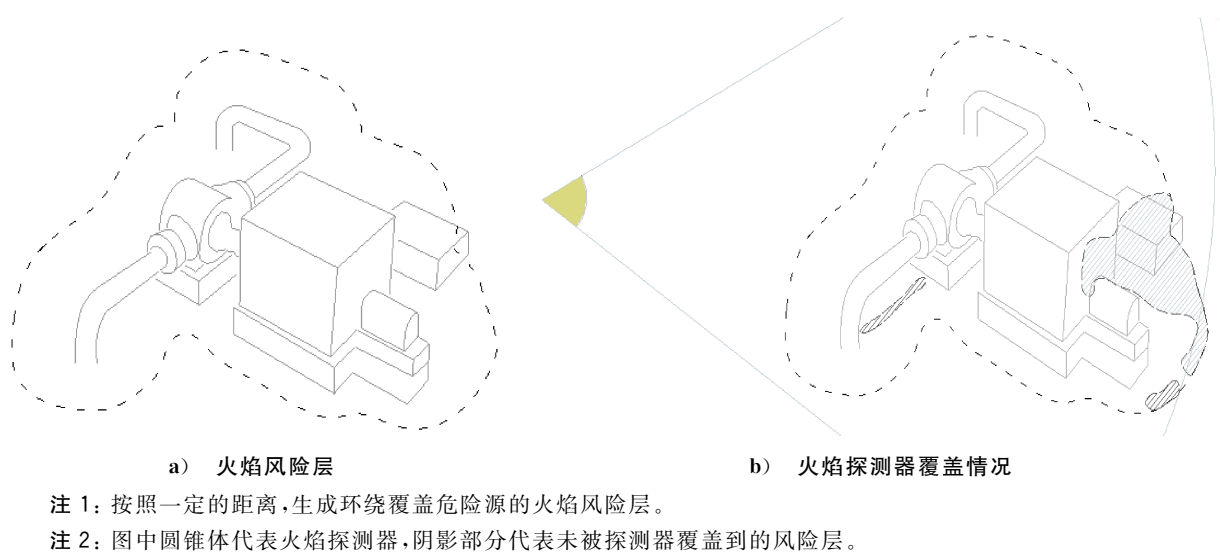


图 A.2 氨气压缩机火焰风险层和火焰探测覆盖情况

- c) 探测器布局:配置保护目标周围的探测器数量、位置、类型、角度以及探测器参数(如垂直覆盖角度、水平覆盖角度和距离)。
- d) 几何计算:通过算法公式计算出探测器对风险层的覆盖率,最后给出优化方案。

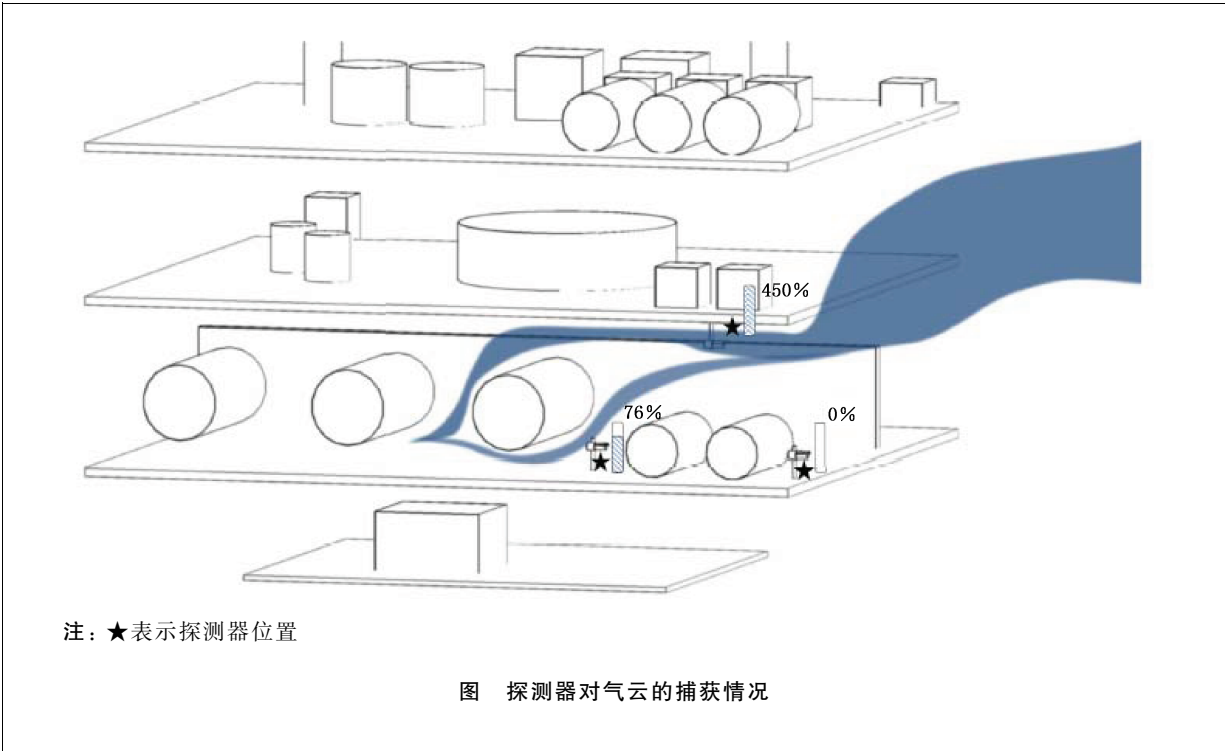
A.3 场景分析法

场景分析法的评估步骤如下:

- a) 区域定义和目标气体定义:智能工厂通常由多个不同功能的装置区组成,这些装置区物理位置不同,因其工艺流程差异,而产生的危险源也不相同。在开始分析之前,应综合考虑区域的物理位置及危险源种类,将工厂分为各自独立的区域,并明确需要探测的泄漏气体种类。
- b) 环境定义:不同地区气候参数有所差异,环境是指一年之中当地的平均温度、大气压力、风向和风速的历史数据。通常可通过风向玫瑰图获取风速和风向的信息。
- c) 泄漏定义:定义泄漏点、泄漏介质以及泄漏量。

- d) 场景定义及 CFD 气云计算:场景是由环境定义和泄漏定义所组成,每一个场景下其环境和泄漏都是确定的,因此其产生的气云也是确定的,所以每一个场景都有对应的气云分布。
- e) 探测器布局:配置保护目标周围的探测器数量、位置、类型、报警阈值及探测器参数。
- f) 分析计算:计算出气体浓度与气体探测器报警阈值的比值,以此了解不同场景下探测器对气云的捕获情况,得出探测器覆盖率,给出优化方案。

示例:探测器对气云的捕获情况示意图。



附 录 B  
(资料性附录)  
典型设备的泄漏频率

压力容器的泄漏频率见表 B.1。

表 B.1 压力容器的泄露频率

| 设 备  | 泄漏类型       | 泄漏频率(次/年) |
|------|------------|-----------|
| 压力容器 | 小型(<25 mm) | 5.00E-05  |
|      | 大型(>25 mm) | 7.00E-06  |
|      | 灾难型        | 5.00E-06  |
| 反应容器 | 小型(<25 mm) | 3.00E-05  |
|      | 大型(>25 mm) | 5.00E-06  |
|      | 灾难型        | 5.00E-05  |

常压储罐的泄漏频率见表 B.2。

表 B.2 常压储罐的泄漏频率

| 设 备  | 泄漏类型       | 泄漏频率(次/年) |
|------|------------|-----------|
| 常压储罐 | 小型(<25 mm) | 5.00E-03  |
|      | 大型(>25 mm) | 1.00E-04  |
|      | 灾难型        | 5.00E-06  |

泵阀的泄漏频率见表 B.3。

表 B.3 泵阀的泄漏频率

| 设 备 | 泄漏类型 | 泄漏频率(次/年) |
|-----|------|-----------|
| 泵 阀 | 单密封  | 8.00E-04  |
|     | 双重密封 | 3.00E-04  |
|     | 套管密封 | 3.00E-05  |

压缩机的泄漏频率见表 B.4。

表 B.4 压缩机的泄漏频率

| 设 备      | 泄漏类型       | 泄漏频率(次/年) |
|----------|------------|-----------|
| 压缩机(离心式) | 小型(<25 mm) | 2.00E-02  |
|          | 大型(>25 mm) | 4.00E-04  |
|          | 灾难型        | 8.00E-06  |

表 B.4 (续)

| 设 备      | 泄漏类型       | 泄漏频率(次/年) |
|----------|------------|-----------|
| 压缩机(往复式) | 小型(<25 mm) | 9.00E-02  |
|          | 大型(>25 mm) | 5.00E-03  |
|          | 灾难型        | 2.00E-04  |

管路及管线的泄漏频率见表 B.5。

表 B.5 管路及管线的泄漏频率

| 设 备                  | 小型(<25 mm) | 大型(>25 mm) | 灾难型      |
|----------------------|------------|------------|----------|
| 管路(<25 mm)           | 4.00E-05   | N/A        | 2.00E-06 |
| 管路(>25 mm 同时<150 mm) | 1.00E-05   | 5.00E-06   | 1.00E-06 |
| 管路(>150 mm)          | 1.00E-06   | 5.00E-07   | 2.00E-07 |
| 管线(地面上)              | 2.00E-07   | 4.00E-08   | 7.00E-09 |

过滤器的泄漏频率见表 B.6。

表 B.6 过滤器的泄漏频率

| 设 备 | 泄漏类型       | 泄漏频率(次/年) |
|-----|------------|-----------|
| 过滤器 | 小型(<25 mm) | 2.00E-04  |
|     | 大型(>25mm)  | 1.00E-07  |
|     | 灾难型        | 5.00E-06  |

其他设备的泄漏频率见表 B.7。



表 B.7 其他设备的泄漏频率

| 设 备       | 泄漏频率(次/年) |
|-----------|-----------|
| 阀门        | 2.00E-04  |
| 软管或接管     | 1.00E-07  |
| 垫圈        | 5.00E-06  |
| 法兰        | 5.00E-06  |
| 壳式或管式热交换器 | 2.00E-04  |
| 板式或框式热交换器 | 7.00E-03  |
| 翅片式冷却器    | 7.00E-03  |
| 冷凝器       | 2.00E-04  |

附 录 C  
(资料性附录)  
三维数字化模型

智能工厂即贯穿了全生命周期的概念,在设计阶段采用数字化手段形成三维数字化模型,该模型能够为数字化设计、工厂化预制、智能化施工提供统一来源的数据和驱动。三维数字化是通过人工搭建物品的外形数据,将获得的数据信息进行加工、拼接,通过建模的方式加以整理,将各个孤立的单视角三维数字模型无缝集成,经过渲染处理以后,形成三维数据文件。可通过以下 3 种方式建立三维模型:

a) 从已有三维模型导出

现在主流的工厂综合性设计软件中所包含的模型,既包含了工厂的设备、建筑、管路的几何模型,同时也包含了设备管路的材质、工艺内部信息、物质的组分、温度压力等。但布点分析所需的三维模型通常无需涉及工艺参数,因此,可以将数据模型输出为 \*.dwg、\*.dgn、\*.sat、\*.stl 等格式,供后期计算使用。如图 C.1~图 C.3 所示为 \*.dgn 格式的三维模型图例。

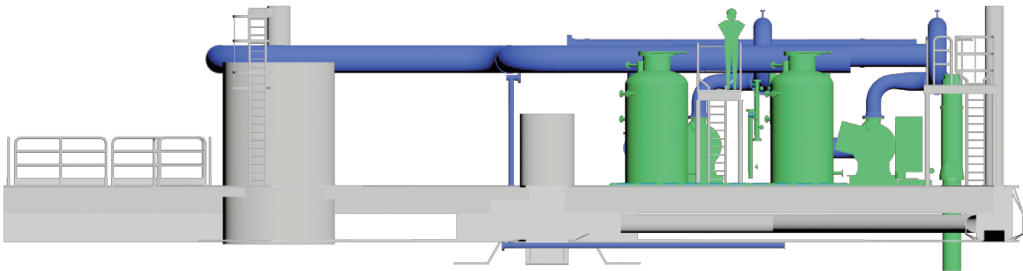


图 C.1 三维模型正面图(\*.dgn 格式)

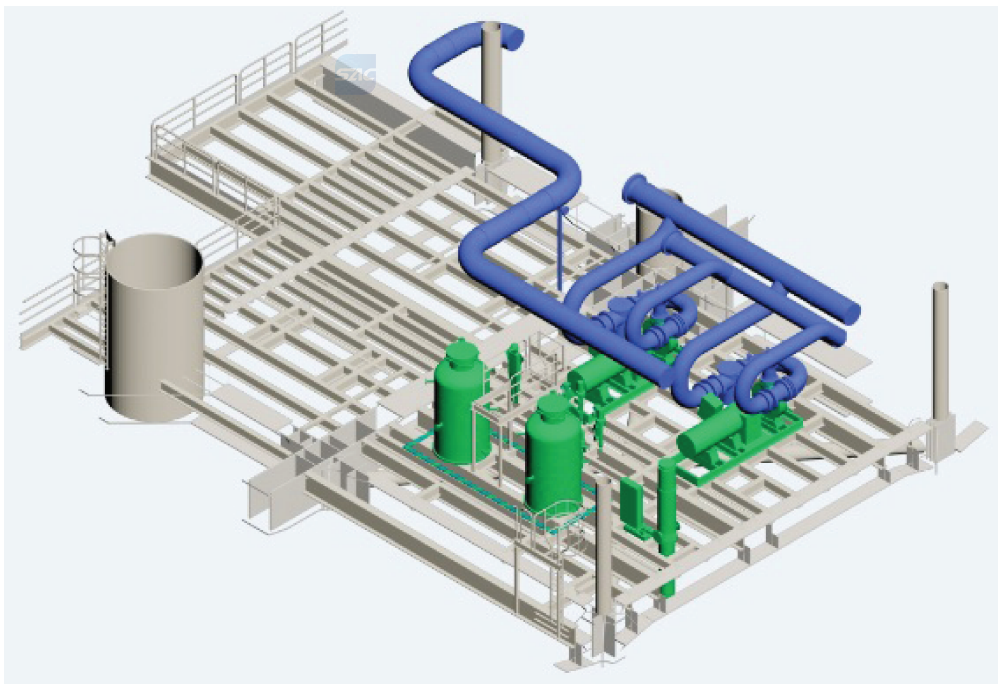


图 C.2 三维模型 45°俯视图(\*.dgn 格式)

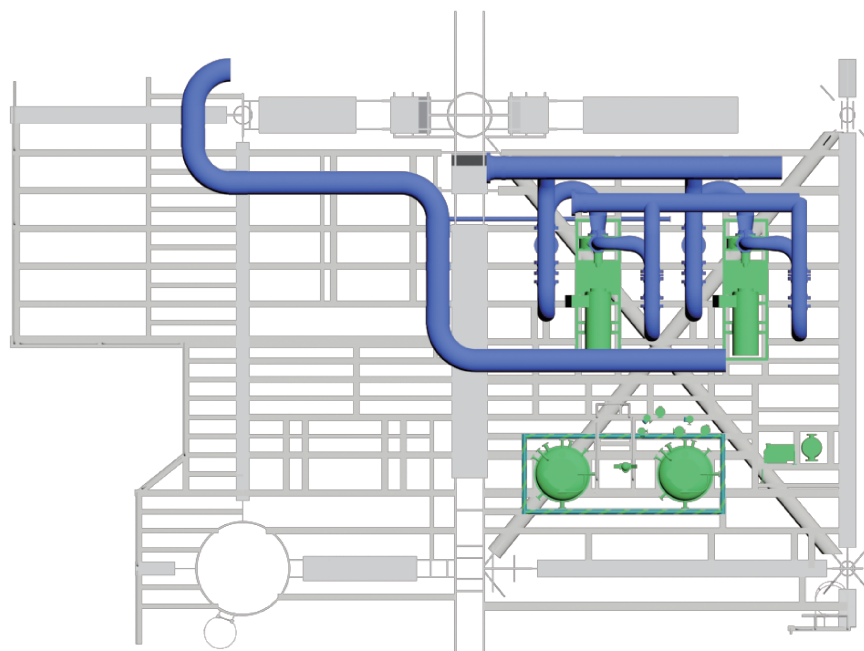


图 C.3 三维模型俯视图(\*.dgn 格式)

b) 搭建三维模型

参考总平面图、立面图及安装图等设计图纸,结合现场勘查的结果建立三维模型。

c) 采用三维激光扫描等办法,形成智能工厂三维点云模型,将处理后的模型实体化,供后期计算使用。

探测器布点所用三维模型颗粒度至少需要考虑以下几个方面:

- 1) 需要搭建装置建/构筑物主体,例如楼层、主要桥架、墙、装置内的主要设备、大型和中型管道、阀门等;
- 2) 简化搭建小型管道及设备密集区域,例如大量小型管路阀门组成的、非常稠密拥挤的区域不能随意忽略,需要简化考虑,比如采用整体的实体替代非常稠密但细小的管路和阀门组成的密集区;
- 3) 可不搭建较小尺寸的管路、法兰等设备,例如仪表风管路、法兰、螺丝螺母、管道设备支撑、吊架等大量小部件,对布点设计的影响相对较小,可不搭建模型,以提高项目执行的可行性;
- 4) 模型搭建宜按照不同的区域分层,并按照设备、管路、结构、暖气通风管路等专业种类分开。方便在进一步分析中灵活处理,即可以同时加载不同层统一考虑,也可以选择性加载某些层方便观察或进行更细节的计算研究。

采用场景分析法,若工厂内各工艺设备区存在高差,对计算条件有所影响,三维模型搭建时还需要考虑引入三维数字化总图作为参考模型。



附 录 D  
(资料性附录)  
CFD 计算流程和方法

CFD 是流体力学的一个分支。CFD 是近代流体力学、数值数学和计算机科学结合的产物,它以电子计算机为工具,应用各种离散化的数学方法,对流体力学的各类问题进行数值实验、计算机模拟和分析研究,以解决各种实际问题。

目前该技术已经广泛地应用于航空航天、汽车火车、暖气通风、机械设计、环境保护、燃烧控制等各种领域内,全世界有很多知名企业提供各种 CFD 计算软件。气体探测系统安全监测有效性评估,使用到的流体计算模块偏重于两种或多种气体混合的流体计算。

以海洋平台为例,典型的 CFD 计算的流程如下:

a) 原始三维模型

从其他三维模型软件中建立需要分析的 CFD 三维模型,生成流体域和固体域。

注 1: 流体域,是指搭建模拟对象的边界空间范围,以确保所有流体均能够在内部流动。

注 2: 固体域,是指搭建模型对象的边界范围或空间,能够为流固耦合计算提供固化模型。

b) 模型网格化

考虑到平台处于开阔空间,受到来自四面八方不同风速风向的影响,后续计算的方便性以及计算模拟的真实性,计算区域长宽取值为平台长宽的 5 倍。对包裹平台的环境空间进行网格划分作为流体域。对平台整体划分固体网格,由于几何结构较为复杂,采用四面体网格划分,并对平台壁面附近的网格进行加密,如图 D.1 所示。

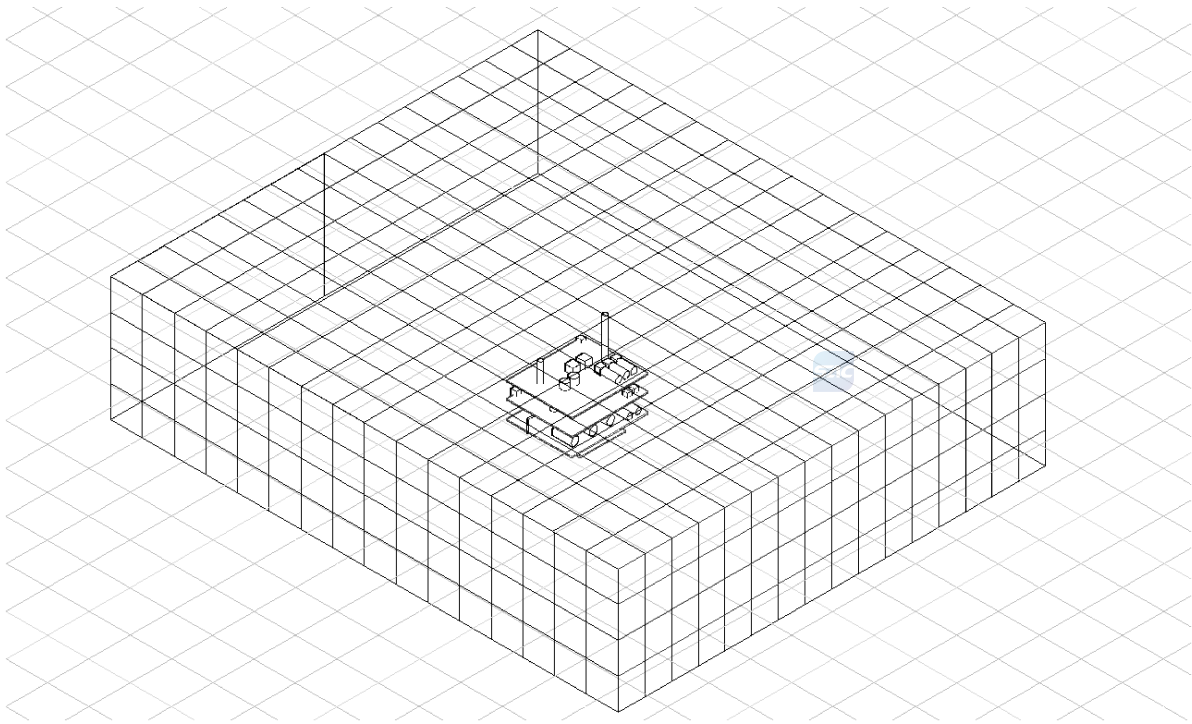


图 D.1 划分固体网格

模型网格化操作流程如下：

- 1) 网格化软件导入原始三维模型文件；
- 2) 建立流体接触界面,包括东、西、南、北、海平面和顶面,或东北、西北、东南和西南；
- 3) 建立长度单位,设定最大值,设定临界面层,空气层网格设在 1 m~3 m,固体层设在 0.5 m~2 m；
- 4) 通过尝试建立多面体网格群,建立的多面体网格数目控制在 1 500 万格以内；
- 5) 输出网格化模型。

c) 预定义

预定义流程如下：

- 1) 启动 CFD 软件预定义界面；
- 2) 导入网格化模型；
- 3) 建立气体定义,包括空气和泄漏气体,泄漏气体可以是单一气体,也可以将组分恒定的混合气体作为单一气体来计算。定义单一气体至少需要其分子量、密度、黏度等参数,特殊情况下需要换热强度、比热等参数；
- 4) 定义流体域、重力、浮力、重力方向和加速度。设置空气为主相,泄露的气体为离散相。选取主相密度作为参考密度,浮力密度设定参照空气密度,通常为 1.185 kg/m³。工艺温度相差比较大的,温度需要开启热焓模型,湍流模型可选取标准的湍流计算( $k-\epsilon$ )模型算法或其他合适的模型算法；
- 5) 建立边界输入,选择表面-东(如果是东风的话),定义风速,定义边界外物质比例为纯空气,泄漏气体比例为 0；
- 6) 建立边界输出,选择类型表面-西(如果是东风的话),定义出口压力为平均静压=0；
- 7) 建立边界-底面,选择类型墙面,注意底面镂空；
- 8) 建立边界顶面,选择类型开放式,定义边界外物质比例为纯空气；
- 9) 建立边界-墙面,选择风洞所在方向的表面；
- 10) 泄漏点流量设置；
- 11) 选取泄漏点下风处一横截面,如图 D.2 所示,导出横截面数据得到风速平均值  $v = 3.61 \text{ m/s}$ ；

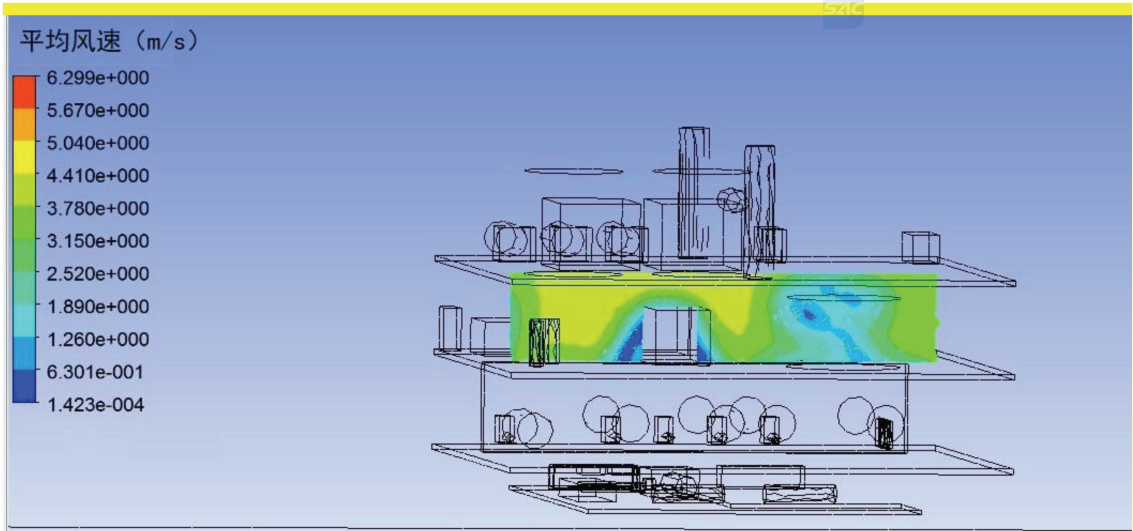


图 D.2 基于场景计算出的平均风速



## GB/T 39173—2020

## 12) 甲烷泄漏量计算

$$Q = 3.141\ 5 \times 3.5^2 \times v \times 0.05 \times 0.8 \times \rho = 3.39\ \text{kg/s}$$

式中:

$Q$  ——泄漏量,单位为千克每秒(kg/s);

$\rho$  ——甲烷密度,取 49 °C 密度为 0.61 kg/m<sup>3</sup>;

$v$  ——速度,取 3.61 m/s。

- 13) 建立泄漏点,填入坐标,选择释放气体,选择稳态释放,选择流量,并填入质量流量 kg/s,选择释放方向,选择释放速率  $u=0, v=0, w=0$  ( $u, v, w$  分别代表在  $x, y, z$  轴向的速度, m/s);
- 14) 存储计算文件至计算模块,文件名命名规则同样是 ESWN(模型方向)-E(风向)-O3(泄露气体);
- 15) 进入求解器模块,选择单核多核或多组计算机并行运算;
- 16) 收敛标准 1.E-04,如提高计算精度则可以提高收敛标准的要求;
- 17) 运算完成后进行后处理,可选择建立渲染显示查看结果,选择释放气体体积比,输出气云结果文件。



附 录 E  
(资料性附录)

智能工厂感温火灾探测器适用区域

智能工厂中感温探测作为火焰探测器的辅助检测手段使用时,其适用情况如下:

- 火焰探测器不适合检测的危险(如高度拥挤、设备密集度高的区域,由于阻挡视线,火焰探测器无法覆盖);
- 作为火焰检测的补充;
- GB 50116—2013 相关要求。

当考虑作为可供选择技术,感温火灾探测可布置于(但不限于)以下类型区域:

- 易燃液体处理和储存区域;
- 储油罐周边;
- 立管和井口;
- 设备高密度区域;
- 泵周围;
- 压缩机驱动端和非驱动端轴承外壳;
- 机罩内部(压缩机、发电机);
- 非烃储存区;
- 气体承压区域,如燃料气系统;
- 可选的探测布置,如泵密封。

GB/T 39173—2020

附 录 F  
(资料性附录)  
典型烃类装置的火灾区域分级表

典型烃类装置的火灾区域分级见表 F.1。

表 F.1 典型烃类装置的火灾区域分级表

| 装置区域         | 设备/应用            | 等 级 |
|--------------|------------------|-----|
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 高压气体压缩机          | I   |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 外输油泵             | I   |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 高压火炬分液罐          | I   |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 清管发射器/接收器        | I   |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 高压分离器            | I   |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 冷凝液/液化石油气泵       | I   |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 燃气轮机(燃料气体区域)     | I   |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 低压分离器            | I   |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 油/气计量装置          | I   |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 低压火炬分液罐          | I   |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 低压柴油输送泵          | II  |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 开放式残液池           | II  |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 采出水处理            | II  |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 燃油储罐,闪点高于 60 ℃   | II  |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 润滑油储罐            | II  |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 注水泵              | 未分类 |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 空压机              | 未分类 |
| 海上或陆地封闭区域/环境 | 空气储罐             | 未分类 |
| 海上开放区域/环境    | 高压气体压缩机          | I   |
| 海上开放区域/环境    | 加热炉              | I   |
| 海上开放区域/环境    | 带压烃储罐            | I   |
| 海上开放区域/环境    | 易燃物质的输送泵         | I   |
| 海上开放区域/环境    | 油气井口             | I   |
| 海上开放区域/环境    | 烃类储罐,闪点低于 60 ℃   | I   |
| 海上开放区域/环境    | 低压输送泵(低燃物质)      | II  |
| 海上开放区域/环境    | 开放的残液池           | II  |
| 海上开放区域/环境    | 润滑油存储设备          | II  |
| 海上开放区域/环境    | 小型低压泵            | 未分类 |
| 海上开放区域/环境    | 小型烃类储罐,闪点高于 60 ℃ | 未分类 |
| 海上开放区域/环境    | 烃类管道             | 未分类 |



烃类装置的火灾区域风险层示意图见图 F.1。

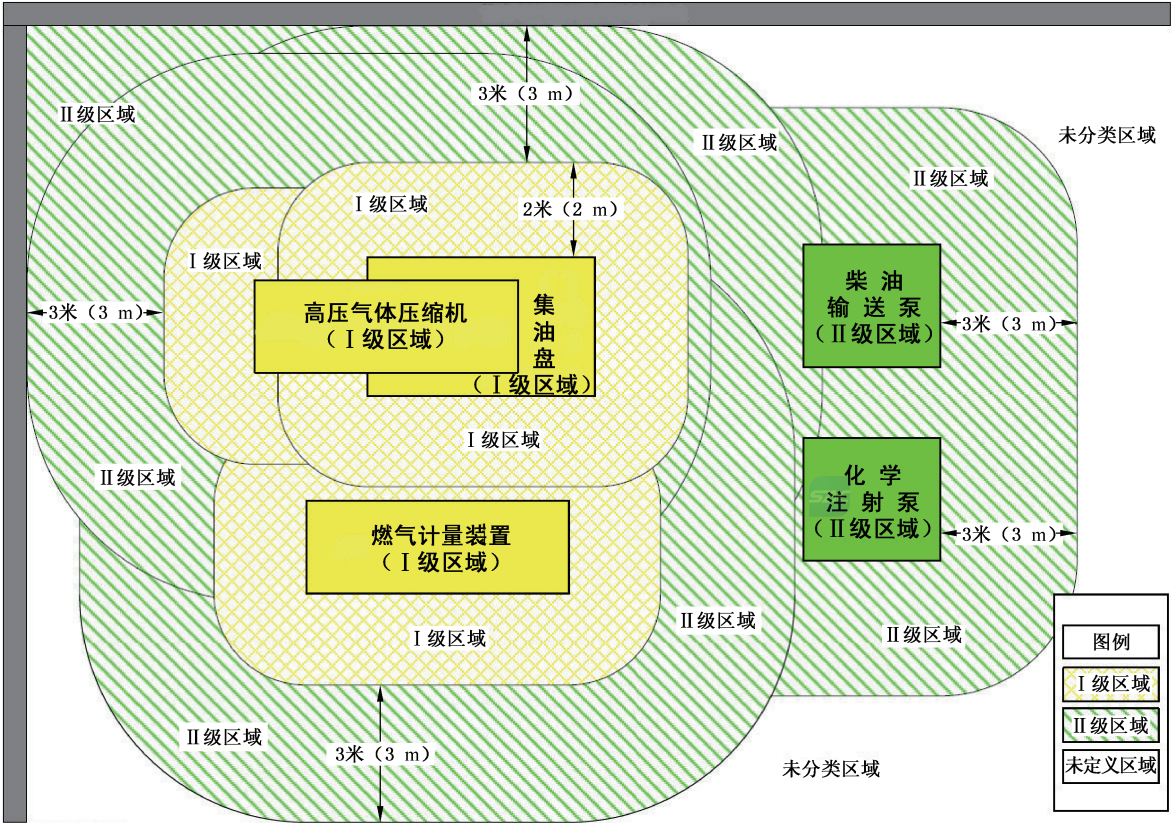


图 F.1 烃类装置的火灾区域风险层示意图

附 录 G

(资料性附录)

场景分析法中的泄漏量定义

气体泄漏受温度和压力的影响有多种情况：小孔喷射、裂缝、腐蚀破裂或操作不当，气流喷射的方向也有多种可能。安全监测的目的是任何泄漏情况下都能探测到形成爆炸危险的气云，而不是微量泄漏形成的气云。以甲烷为例，其达到最低爆炸下限(100% LEL)的体积比浓度是 5%(50 000 ppm)。形成爆炸危险需要两个条件：气云中可燃气体浓度能够达到最低爆炸下限；气云达到爆炸下限的长度达到一定的值。

按照爆炸理论，当火焰的燃烧速度低于 100 m/s 时，不太可能发生爆炸所需的超压情况，而要达到这个速度需要足够的燃烧距离，按照 BP-GP 30-85 附录 G，以乙炔为例，当乙炔和空气充分混合完全燃烧的情况下，这个距离至少需要 5 m 到 6 m。

另外爆炸所需的超压和空间的类型密切相关，越是封闭的场所，越容易发生超压。壳牌 DEP 标准对目标可燃气体气云的尺寸做了定义，封闭空间为 5 m，部分封闭空间为 7 m，而开放空间为 10 m。

参照 BP-GP 30-85 附录 G，以甲烷在开放空间泄漏为例，在没有空气流动、泄漏流量是 2.5 kg/s 且泄漏以亚音速释放并达到稳态时，云团中的甲烷浓度能够达到最低爆炸下限部分的长度是 9 m；当泄漏流量是 0.1 kg/s 时该长度只能达到约 2 m。如图 G.1 所示。按照开放空间 10 m 的目标气云，上述情况下的甲烷泄漏不能达到造成爆炸性环境的最低要求。空气流动会导致气云更快地扩散，气云能够达到爆炸下限的部分长度相应也会缩短。

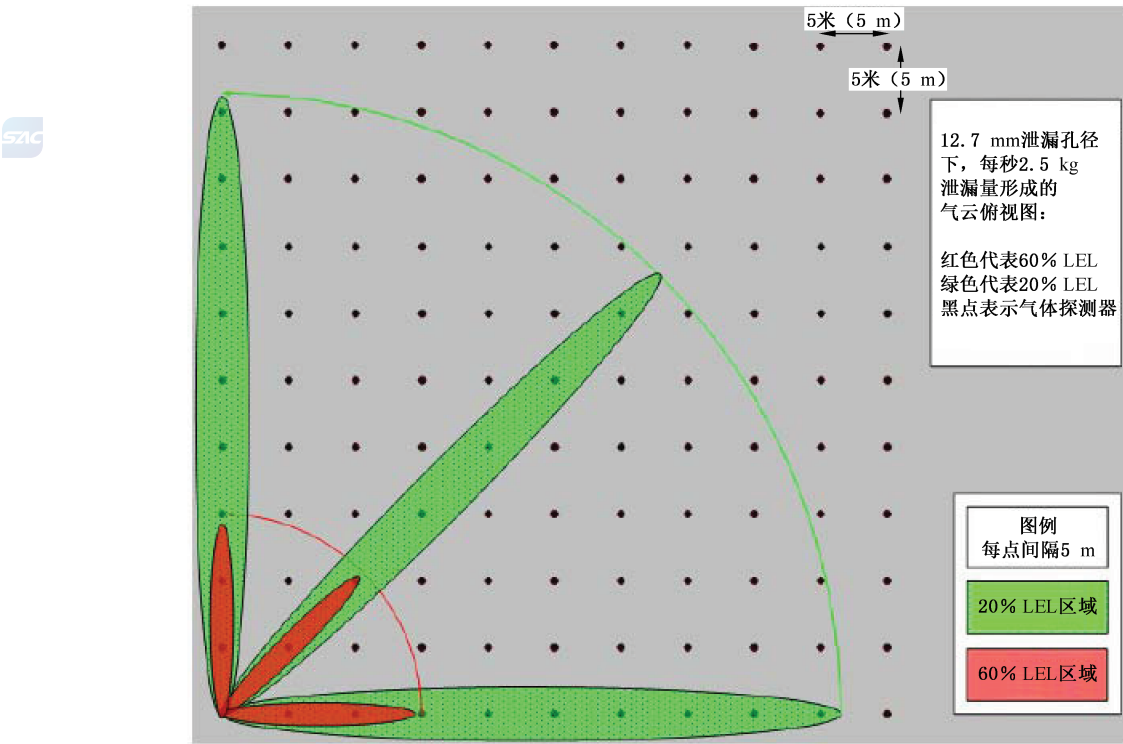


图 G.1 2.5 kg/s 甲烷释放示意图

在开放或部分封闭空间中有空气流动的情况下，对于定量泄漏，影响爆炸条件的因素还取决于空间的密集程度和空气流动的速度。空间越是密集、空气流速越低就越容易达到爆炸条件，空间越是开放、空气流速越高就越不易达到爆炸条件。

### 参 考 文 献

- [1] GBZ 2.1—2019 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素
  - [2] ISA TR84.00.07 Guidance on the Evaluation of Fire, Combustible Gas and Toxic Gas System Effectiveness
  - [3] BP-GP 30-85 30 December 2009—Guidance on Practice for Fire and Gas Detection
  - [4] PTS 14.33.01 Fire and Gas Detection Mapping
  - [5] PTS 32.30.20.11 FIRE, GAS AND SMOKE DETECTION SYSTEMS
  - [6] SHELL DEP 32.30.20.11 FIRE, GAS AND SMOKE DETECTION SYSTEMS
  - [7] OREDA Offshore and Onshore reliability data 2015, 6<sup>th</sup> edition
-