

# 光气及光气化产品安全生产管理指南

国家安全生产监督管理总局

2014年10月

# 目次

1	范围.....	1
2	规范性引用文件.....	1
3	术语、定义.....	1
4	规划布局.....	2
4.1	布点布局.....	2
4.2	选址.....	2
4.3	安全许可.....	2
5	设计.....	2
5.1	设计基本原则.....	2
5.2	一级安全措施.....	3
5.3	二级安全措施.....	14
6	操作管理和安全程序.....	16
6.1	企业的义务.....	16
6.2	安全管理体系和安全标准化.....	17
6.3	工艺安全管理.....	17
6.4	设备安全管理.....	21
6.5	变更管理（MOC）.....	23
6.6	人员培训.....	23
6.7	自我评估.....	25
6.8	事件、事故管理.....	25
6.9	运输.....	26
7	毒理学和管理标准.....	26
7.1	光气的毒理学作用模式.....	26
7.2	光气的暴露限值和标准.....	26
8	职业健康.....	28
8.1	职业危害申报.....	28
8.2	教育培训与个体防护.....	28
8.3	职业危害管理.....	29
8.4	作业防护.....	30

8.5	警示公告	30
8.6	日常监控(检查)	31
8.7	职业病管理	31
9	急救和医疗	32
9.1	救援与急救	32
9.2	就医运送	33
9.3	医疗协作和沟通	33
9.4	医疗决策树	33
9.5	医疗人员的培训	33
10	实验室安全规程	34
10.1	实验室描述	34
10.2	实验室设计、设备、程序	34
10.3	实验操作	39
10.4	实验人员培训	40
11	应急救援管理	40
11.1	总则	40
11.2	应急管理目标	40
11.3	应急救援预案编制	40
11.4	区域(园区)应急计划	41
11.5	工厂内应急计划	41
11.6	工厂内的应急设施	41
11.7	装置应急计划	41
11.8	装置应急设施	41
11.9	应急情况培训和演练	42
	附录 A (资料性附录) 双光气与三光气的使用与存放	43
A.1	前言	43
A.2	标准操作程序(SOP)内容	43
	附录 B (资料性附录) 毒理学和管理标准参考网站	47
	参考文献	48

# 光气及光气化产品安全管理指南

## 1 范围

本文件是光气及光气化产品生产单位的规划布局、设计、操作管理、毒理学管理、职业健康、急救、实验室安全以及应急救援等的管理指南。

本指南适用于光气以及光气化产品生产单位的建设、生产和实验室设施的安全管理。

## 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 19041 光气及光气化产品生产安全规程

GB/T 29639 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则

GBZ 2 工作场所所有害因素职业接触限值

GBZ 158 工作场所职业病危害警示标识

AQ 3013 危险化学品从业单位安全标准化通用规范

AQ/T 9006 企业安全生产标准化基本规范

危险化学品生产企业安全生产许可证实施办法（国家安全生产监督管理总局令第41号）

危险化学品建设项目安全监督管理办法（国家安全生产监督管理总局令第45号）

工作场所职业卫生监督管理规定（国家安全生产监督管理总局令第47号）

职业病危害项目申报办法（国家安全生产监督管理总局令第48号）

用人单位职业健康监护监督管理办法（国家安全生产监督管理总局令第49号）

建设项目职业卫生“三同时”监督管理暂行办法（国家安全生产监督管理总局令第51号）

中华人民共和国工业产品生产许可证管理条例实施办法（国家质量监督检验检疫总局令第80号）

## 3 术语、定义

### 3.1

**光气化产品** phosgenation products

光气与一种或一种以上的化学物质进行化学反应的生成物。

### 3.2

**一级安全措施** primary safety measures

管道、设备、泵、过程控制技术（PCT）设备和过程控制设计等，此外还包括仪表安全控制系统（联锁、紧急停车等），所有含有光气的尾气分解系统，光气设备紧凑布局设计，最大限度地减少光气持有量的工艺设计以及培训、变更管理（MOC）、标准操作程序（SOP）、工作许可、应急响应方案（ERP）等完善的安全程序。

### 3.3

**二级安全措施** secondary safety measures

设立机械通风措施并与光气破坏系统相连的隔离房、全夹套的设备和管道系统、氨-蒸汽幕或氨-水幕等。

## 4 规划布局

### 4.1 布点布局

光气及光气化项目布点布局应综合考虑化工园区内安全总量、光气在线量以及周围环境承受能力。应由有资质的专业评估机构进行风险评估和论证，并通过有关部门的审查。同时应按照产业集聚、布局集中、用地集约和安全环保的原则布局建设。

### 4.2 选址

4.2.1 新建或扩建光气项目选址应符合本地区经济发展和土地利用规划，应在化工园区内建设。化工园区设置应与城市远期的功能定位相互协调。地方政府应统筹城市区域发展规划及化工园区布点布局，充分考虑城市发展余量，设置足够的安全防护隔离带，留出安全发展空间。

新建或扩建光气项目安全防护距离应满足《光气及光气化产品生产安全规程》的要求。

4.2.2 不应在以下区域新建光气装置：

- a) 依法设立的基本农田保护区、风景名胜区、自然保护区、饮用水源保护区、重要环境功能区、海水浴场、重要渔业水域和其他需要特别保护的区域内；
- b) 城市的全年主导风向的上风向和主要江河流域的上游、城市规划区及距离城市规划区边界2 km以内；
- c) 公园和体育场馆等大型公共设施、农牧业保护区、军事管理区周边2 km以内以及港口、码头、车站周边1 km以内；
- d) 主要江河两岸、一二级公路、高速公路、铁路、航道干线等交通要道两侧各1 km内；
- e) 地震设防烈度在8度（不含）以上地区；
- f) 国家所规定的环保、安全防护距离内的区域。

4.2.3 已在4.2.2所列区域内投产运营的光气生产企业，应根据该区域规划要求，通过搬迁改造等方式限期退出。

4.2.4 在现有符合上述布局要求的光气生产企业周边安全距离内，不应规划建设新的住宅小区、居民集中区、大型劳动密集型企业、公园、体育场馆及其他大型公共基础设施。

4.2.5 光气及光气化生产装置应集中布置在化工园区的主导风向的下风向并自成独立生产区，与周边企业距离应符合相关要求。控制室不应设在光气装置的主导下风向。

### 4.3 安全许可

4.3.1 光气及光气化产品建设单位应按照《危险化学品建设项目安全监督管理办法》的相关要求，分别进行建设项目的安全条件审查、安全设施设计审查、试生产（使用）方案备案和竣工验收审查；按照《建设项目职业卫生“三同时”监督管理暂行办法》要求，进行职业卫生“三同时”的备案、审核、审查和竣工验收。建设项目职业卫生“三同时”工作可以与安全设施“三同时”工作一并进行。

4.3.2 光气及光气化产品生产企业进行生产前，应当依照《危险化学品生产企业安全生产许可证实施办法》的有关规定，取得危险化学品安全生产许可证。

4.3.3 光气及光气化产品生产企业应当依照《中华人民共和国工业产品生产许可证管理条例实施办法》的有关规定，取得工业产品生产许可证。

## 5 设计

### 5.1 设计基本原则

5.1.1 在布置单元位置时，应考虑主导风向。所有涉及光气的设备应尽可能紧凑地布置，最大限度地减少在线光气量。

- 5.1.2 关键的安全和控制设施应在光气区域外操作。
- 5.1.3 在装置区内及周边要安装光气监测器，光气监测器应具备声光报警功能。
- 5.1.4 光气合成、光气化和处理单元应根据双重安全措施（即一级和二级安全措施）的概念设计和运行。

一级安全措施应满足 5.2 的要求；选择哪些二级措施则取决于工艺的类型、光气装置区的面积、设备和管道的尺寸及复杂程度等。

## 5.2 一级安全措施

### 5.2.1 设计原则

- 5.2.1.1 在设计光气系统时，应考虑正常操作条件下可能产生的偏差。
- 5.2.1.2 金属管道和设备应按完全真空条件设计，选择合适的耐腐蚀材料和腐蚀余量，并采取相应的防腐蚀措施。
- 5.2.1.3 应考虑工艺设备的温度和压力等级，确保异常条件下的机械完整性。
- 5.2.1.4 光气设备和管道的焊缝应便于进行无损探伤。
- 5.2.1.5 含光气的物料应通过重力、惰性气体加压或者无轴封的泵（如屏蔽泵或磁力泵）进行输送。
- 5.2.1.6 工艺尾气排放和压力泄放应连接到光气破坏系统，光气破坏系统应设置独立的备用电源。
- 5.2.1.7 除取样管外，使用管道和接口的最小尺寸为 DN 25。取样管只能用于分析取样。
- 5.2.1.8 光气设施不得采用螺纹连接，不得长期使用软管连接，避免使用视镜。

应尽量减少使用膨胀节和连接法兰，使用膨胀节要登记，并定期进行检查和更换。

- 5.2.1.9 应按照国家法律法规和国家标准、行业标准的规定，对承压设备进行检验。

### 5.2.2 设计要求

#### 5.2.2.1 工艺条件

光气设施的工艺条件应满足以下要求：

- a) 最小的光气在线量；
- b) 采用适当的工程标准来控制高温和高压；
- c) 加热和冷却宜采用惰性介质，在水介质情况下应采取预防腐蚀等措施；
- d) 光气实施在线分析。

#### 5.2.2.2 金属压力容器

这一部分是用于异氰酸酯和聚碳酸酯等非腐蚀性工艺的金属压力容器的规定。

##### 5.2.2.2.1 设计制造过程中应考虑的主要因素有：

- a) 设计开孔数量最少的压力容器；
- b) 在计算设备和管口的壁厚时要考虑腐蚀余量；
- c) 所有的容器应按完全真空设计；
- d) 设置卸压保护装置，并与光气破坏系统相连；
- e) 对于法兰连接，要求管道最小公称尺寸至少为 DN 25 ；
- f) 人孔最小公称直径为 DN 600，要设计在操作液位以上的位置；
- g) 设备法兰或管口法兰可采用榫槽型、凸面型或特殊设计（仅用于设备法兰）；
- h) 要尽量减少隐蔽焊缝的数量；
- i) 全部对接焊缝应进行100%射线探伤。

##### 5.2.2.2.2 涉及光气的热交换器以及光气合成反应器除应遵循 5.2.2.2.1 的规则外，还应考虑以下因素：

- a) 在设计中防止管束震动；

- b) 管壳式换热器应使用无缝管；
  - c) 避免在换热器的光气侧使用膨胀节；
  - d) 焊接及射线检测探伤后，建议管头胀管。
- 5.2.2.2.3 防止水进入工艺侧的预防措施：
- a) 管壳式换热器宜采用双管板；
  - b) 工艺侧压力应大于冷却水压力，并在冷却水侧设置具有报警功能的在线pH值（或电导率）分析仪；
  - c) 采取措施确保冷却水没有腐蚀性；
  - d) 设置工艺侧水含量在线监测仪。
- 5.2.2.2.4 对于新建装置，避免在用于光气的设施中采用翅片管热交换器和空冷器。

### 5.2.2.3 动设备

#### 5.2.2.3.1 总体要求

- a) 检查和测试：用着色渗透法检查铸件的内、外表面，可以用氦泄漏试验检查泵壳的密封性，用射线探伤法检查铸件的关键区域。铸件的关键区域通常包括：
  - 1) 在运行中承受最大应力的区域；
  - 2) 出现最大弯曲或最复杂的区域；
  - 3) 靠近法兰的区域。
- b) 机械密封：首选无动密封的屏蔽电机或磁力驱动设备，可以但不鼓励使用双端面机械密封。
- c) 尽量避免使用有死角的设备。
- d) 外部辅助连接部件，包括排放口、放空口、轴承冲洗口、阀门等，管道尺寸最小为DN 25。

#### 5.2.2.3.2 离心泵

需配备相关仪器对无动密封磁力泵和屏蔽泵的以下情况进行监控：

- a) 轴承冲洗逆流保护。
- b) 憋压。
- c) 泵的空转。
- d) 电机的绕组温度（仅屏蔽泵）；。
- e) 轴位移（仅屏蔽泵）。
- f) 尽管无动密封泵是首选，但在下列情况下，机械密封泵也是可以使用的：
  - 1) 只能使用双端面机械密封泵；
  - 2) 使用密封缓冲液在密封通道中进行循环，该密封液要与工艺条件相适应，压力要高于工艺侧压力，可以通过监测缓冲液的压力、流量等方法来确定是否存在密封泄漏。

#### 5.2.2.3.3 压缩机

应尽量避免在光气条件下使用压缩机，必须使用时应进行特殊的设计。

#### 5.2.2.3.4 真空泵

在光气条件下，液环真空泵的密封液应使用与工艺条件相适应的介质。

#### 5.2.2.3.5 搅拌器

与罐壁直接连接的法兰的材质应与罐体相同。

### 5.2.2.4 非金属设备

#### 5.2.2.4.1 结构材料

应避免使用直径小于 50 mm 的接管，并尽量减少连接法兰。建议用弹性垫片和平面法兰，并考虑材料的热膨胀。

#### 5.2.2.4.2 检查和测试

设备（包括内衬材料）的测试应与制造设备所用材料的测试程序和说明相一致。为避免缺陷，要对焊缝以及焊缝附近区域进行电火花测试。

#### 5.2.2.4.3 玻璃容器

除实验室外，在光气条件下不得使用玻璃材质的设备。

#### 5.2.2.4.4 搪玻璃设备

在光气条件下，可选用搪玻璃设备。

#### 5.2.2.4.5 合成材料或钢衬塑容器

用乙烯三氟氯乙烯共聚物（ECTFE）制作的钢衬塑设备适合于低于 100 °C 的光气条件下工作。聚偏氟乙烯（PVDF）是其次的内衬材料。

#### 5.2.2.4.6 石墨换热器

##### 5.2.2.4.6.1 检查和测试

安装后应进行压力测试，使用过程中应定期进行压力测试。

##### 5.2.2.4.6.2 特殊安装要求

石墨换热器的安装有以下特殊要求：

- a) 缓慢打开阀门避免压力波动；
- b) 在换热器上游控制流量；
- c) 热膨胀可能引发不可承受的高压，因此应避免将物料封闭在换热器内，必要时可使用安全阀。

#### 5.2.2.5 管道

##### 5.2.2.5.1 管道设计

管道设计应符合以下各项要求：

- a) 符合国家法律法规以及国家标准、行业标准及技术规范的要求；
- b) 根据工艺要求选择管道材质；
- c) 不允许使用蒸汽加热或用水冷却的套管；
- d) 突出在保温材料外的管道末端可能结冰和挂霜，需要外涂合适的涂料；
- e) 管道和法兰的保温应根据防水设计的原则，避免湿气渗透（尤其是来自海洋的空气）进入保温材料引起腐蚀。在保冷的情况下，宜采用隔潮措施；
- f) 所有法兰开口（如放空口和排净口）在不使用时，应用盲板封闭；
- g) 热塑性塑料衬里的金属管道、橡胶衬里的金属管道、固体热塑性塑料管道不宜在异氰酸酯或聚碳酸酯工艺中作为光气管道；
- h) 碳钢管道应进行喷涂，使外部腐蚀风险降到最低。

##### 5.2.2.5.2 管路布置及支撑

管路布置及支撑应注意以下几点：

- a) 光气管道应采取尽可能短的走向；
- b) 管道布局应尽量避免积液点；
- c) 应通过管道走向自由度或膨胀段来平衡管道的热伸缩；
- d) 避免在阀门之间截留液态光气，如阀门之间的管线充满液体，应采取措施释放压力；
- e) 避免在输送热流体或腐蚀性物料的管线附近安装光气管线；
- f) 避免把管道布置在交通流量大的区域并防止机械冲击；
- g) 避免在吊装设备下布置管道；
- h) 光气管道应注意减少振动、应力和热膨胀。

#### 5.2.2.5.3 膨胀节（波纹管/补偿）

若膨胀节是必须的，其设计参数应与光气条件参数相一致，并按照制造商的说明对膨胀节进行安装、检查和更换。

#### 5.2.2.5.4 双截止阀和排净阀

管道系统应采用双截止阀和排净阀将运行部分和维护部分隔断。双截止阀和排净阀结构形式如图1所示。

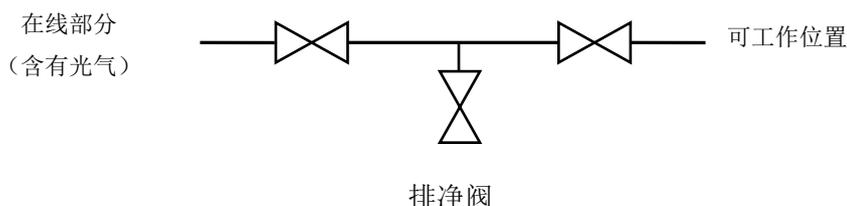


图1 双截止阀和排净阀结构形式

#### 5.2.2.5.5 非金属管道材料

采用非金属材料时，应能耐受使用的溶剂与化学物质的侵蚀，并要对材料的应用情况进行评估，评估内容包括对工艺中的代表性样品进行测试。

#### 5.2.2.6 阀门（不包括安全阀和工艺分析系统中的仪器阀门）

##### 5.2.2.6.1 基本要求

在光气条件下使用的截止阀和调节阀宜采取两种不同形式的密封，二级密封是可调节的。主要注意事项有：

- a) 尺寸最小为DN 25；
- b) 过程控制的传感器或采样系统可采用尺寸为DN 25的工艺截止阀；
- c) 可采用承受最高工艺压力与全真空条件的阀门；
- d) 阀门应采用法兰连接或焊接；
- e) 阀体应采用韧性材料铸造或锻造，避免使用焊接的阀体；
- f) 在光气条件中不得使用螺纹连接的阀体；
- g) 应避免将三通阀门用做截止阀使用；
- h) 带保温层的执行器或有可能结冰的手柄需要使用额外的长阀杆；
- i) 在寒冷工况下，碳钢阀应有外部保护；
- j) 整体型阀门优于分体型阀门。

#### 5.2.2.6.2 推荐的阀门类型

推荐以下 4 种适合光气条件的基本阀门类型：

- a) 波纹管密封截止阀；
- b) 旋塞阀：旋塞阀有压力和温度限制；
- c) 蝶阀：为了满足光气条件的要求，需要对标准的阀门进行适当修改；
- d) 球阀：球阀可以全部使用金属制造。

#### 5.2.2.6.3 夹套阀(二级隔离)

夹套阀的设计需要特别注意填料压盖和阀杆连接部分。全夹套阀门可以作为光气工厂中二级隔离的组成部分。

#### 5.2.2.7 超压保护装置

##### 5.2.2.7.1 基本要求

只要容器和管道存在超压风险，就必须采取保护措施。如果采取泄压装置，其泄放量应满足最恶劣工况。用满足一定安全完整性等级（SIL）的安全仪表系统来切断压力源，也是防止超压的有效措施。详细安全审查（危险与可操作性分析）时，应对防止超压的措施进行详细说明。

爆破片不能用来作为光气条件下的主要泄压设备。

泄压阀上不允许放置排气（测试）杠杆。

若存有低温介质的管段两端封闭，可能会因热膨胀导致截止阀的管线之间超压。可以通过下列方法之一来避免：

- a) 将其中一个阀门锁定在开启位置；
- b) 安装泄压阀作为其中一个截止阀的旁路；
- c) 膨胀腔（最常见配有爆破片）和在控制室安装有报警功能的压力指示器。

对于热膨胀带来的风险，除了这些方法，有组织的、严格的过程控制，也可达到同样效果。

##### 5.2.2.7.2 泄压阀

泄压阀的选用应注意以下事项：

- a) 光气条件下的所有泄压阀应配有弹簧加载的波纹管，并对波纹管进行故障监测；
- b) 只要与管道系统相一致，泄压阀的进口和出口法兰可以采用制造商的标准法兰；
- c) 光气条件至少应选用由碳钢阀体、不锈钢阀芯和阀杆以及液压成型的波纹管组成的泄压阀；
- d) 波纹管的材料应进行质量认证，波纹管和阀杆的连接要进行焊接。

##### 5.2.2.7.3 爆破片

对于可能产生过度腐蚀、污染或粘连的地方，可以在进口使用爆破片来保护泄压阀。对波纹管进行故障监测时，也可以使用爆破片保护。

爆破片安装后，爆破片和阀座之间的空隙应进行故障监测。

泄压阀需要完全干燥，并且要在湿气不能进入的情况下安装。

#### 5.2.2.8 垫片

##### 5.2.2.8.1 垫片的选用

垫片的选用应注意：

- a) 与工艺流体的性质相匹配；
- b) 操作压力和温度参数符合管道的总体设计；

- c) 适合法兰的类型（榫槽，凸面）；
- d) 垫片能够抵抗吹出，除非垫片包含在受限接头中（这项要求只适用于金属管道，因为金属系统通常需要较高的操作压力）。

#### 5.2.2.8.2 金属系统垫片的主要类型

金属系统的典型垫片有：

- a) 采用金属增强或无金属增强的石墨垫片；
- b) 聚四氟乙烯或石墨填充的金属缠绕垫片；
- c) 带有聚四氟乙烯或石墨层的齿型垫片；
- d) 在全夹套系统中可从一段吹扫到另一段的可吹扫垫片，这些垫片可以是用于一级密封的带有聚四氟乙烯或石墨衬里的槽型金属垫片，也可以是用于二级密封的石墨或聚四氟乙烯填充的金属缠绕垫片。

#### 5.2.2.8.3 非金属或带衬里的管道和设备系统的垫片

非金属或带衬里的管道和设备系统的典型垫片有：

- a) 带有金属插件的橡胶垫片；
- b) 非石棉填充的改性聚四氟乙烯垫片；
- c) 具有多向强度的100% 膨胀垫片；
- d) 带有记忆插件的聚四氟乙烯垫片；
- e) 无金属填充的石墨垫片；
- f) 聚四氟乙烯带(仅用于设备)。

#### 5.2.2.8.4 垫片的安装

安装垫片需要遵循以下几点：

- a) 对螺母、螺栓和法兰表面进行清洗并检查其是否有损坏；
- b) 结合面与垫圈中心保持对齐；
- c) 对螺母和螺栓的工作面进行润滑；
- d) 螺栓要使用扭矩扳手按对角对称的方式拧紧；
- e) 安装完成后进行泄漏测试。

#### 5.2.2.9 电气和仪表设备

##### 5.2.2.9.1 仪表和过程控制系统

###### 5.2.2.9.1.1 施工原则与材料

电气与仪表设备设计时应满足其所安装的管道和设备的操作要求，这包括温度极限、压力（真空）等级以及在正常操作、开停车操作和清洗过程中采用的材料（包括密封、垫圈等）对其所接触的工艺介质的耐腐蚀性。

仪器在设计之初应考虑对电子部件的保护，例如将精密部件封装在结构稳定的外壳内。

优先采用具有灵敏的传感器系统和强化诊断功能的仪器，这样在传感器损坏时可以产生一个诊断报警(如维护需求、故障等)。

针对电气和仪表结构与材料的注意事项有：

- a) 焊接于最适宜的位置，以便在仪表组装后对焊缝进行检测。
- b) 仪表和阀门的压力及温度等级应与管道规格要求一致。
- c) 尽量消除或减小死区。

- d) 选择合适的结构材料。合适的结构材料指碳钢和不锈钢；但薄壁的部件(例如远程密封膜片和波纹管)最好使用钼或哈氏合金制造；与含光气介质接触的部件不宜采用钛制造。
- e) 工艺接口形式应是和管道设计相一致的焊接或法兰连接。法兰配对最好是仪表配对法兰和仪表本体法兰。
- f) 无论是进行连接还是作为仪表的一个部件，不得使用螺纹作为隔离工艺流体与环境的密封措施。
- g) 当电气设备和仪表有螺栓夹紧的部件时，最好选择静态垫圈密封或O型环密封。选择垫片和密封材料时，需要考虑溶剂、温度和潜在杂质等所有工艺因素。
- h) 在选择用于将仪器部件装配到一起的紧固件的材料时，应考虑潜在的腐蚀及低温因素导致的热效应和脆变效应。
- i) 除纯矿物油外，其他润滑油应进行与工艺条件相容性的测试。
- j) 光气会渗透进聚四氟乙烯中，设备维修前，应对聚四氟乙烯部件(垫片、密封材料、衬里等)进行处理。
- k) 可延展的铸造材料适用于光气条件。

#### 5.2.2.9.1.2 选择标准

过程控制技术设备应从有资质的供应商处购买。本节涉及的过程控制技术设备包括：

- a) 液位测量采用的振动(音叉)、雷达、外部核辐射测量。
- b) 流量测量采用的科里奥利、涡街、超声波、可变面积(转子流量计)、压差流量计。
- c) 压力测量设备。
- d) 温度测量, 首选以焊接的方式安装插入设备的温度计套管。
- e) 自控阀门与5.2.2.6中所述的手动阀门要求相同。
- f) 对在正常操作中暴露于光气介质中的承压对接焊缝，可能的话应进行100%的射线探伤。若不能进行射线探伤(例如壁厚较薄或尺寸较小)，则可采用着色(针对不锈钢和镍基合金)或磁粉(针对碳钢和低合金钢材料)进行100%的探伤。满足以下条件时，根据购置的数量可以缩小测试范围：
  - 1) 采用自动焊接工艺进行对焊；
  - 2) 制造商拥有完善的质量管理体系。

若用户要求进行额外的检查和测试，应将这些检查和测试写入设备规格书中。

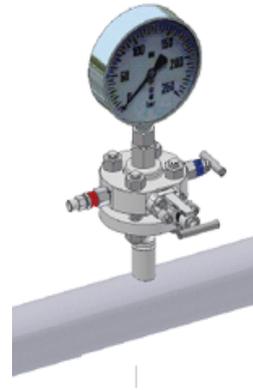
#### 5.2.2.9.1.3 安装注意事项

现场的过程控制技术设备应安装在能自行排水的位置，避免将测量设备安装在容器正常液位以下。为保证机械稳定性，所有过程控制(和过程分析)设备的工艺接口尺寸至少是 DN 25。连接可以从以下两种方法中选择：

- a) 单个工艺隔断阀，被视为应用于过程分析设备时的最低要求；
- b) 双截止阀加排净阀门组，在工艺介质洁净时，也可以用专用集成法兰(mono-flange)，结构形式如图2所示。



双截止阀加排净阀门组



专用集成法兰 (mono-flange)

图2 双截止阀加排净阀门组与专用集成法兰

#### 5.2.2.10 分析

##### 5.2.2.10.1 分类

在涉及光气的装置中，分析仪器按用途可作如下划分：

- a) 排放气体监测；
- b) 装置内部和装置周边区域监测和泄漏探测；
- c) 室内空气监测；
- d) 工艺组分监测。

本节讨论的分析仪是针对现场操作的工艺固定式分析仪，便携式分析仪不在本节范围内。

##### 5.2.2.10.2 排放气体监测

测试光气的常用方法是红外吸收或试纸的变色反应（氯化氢会对试纸仪器的灵敏性产生负面的交叉干扰）。

##### 5.2.2.10.3 装置内部和装置周边区域监测和泄漏监测

进行气体泄漏监测应采用多点取样或将分析仪分布在装置周围。

监测原则有以下两种：

- a) 检测器取样管：通过一个或多个取样管将气体样品输送到一个或多个中央探测器，每个取样管都有多个取样点，以对装置与关键设备的特定区域进行监测。测试的方法是通过试剂与试纸的变色反应（氯化氢会对试纸仪器的灵敏性产生负面的交叉干扰）。
- b) 单个分析仪：每个测试点都是单独的传感器或分析仪。

##### 5.2.2.10.4 室内空气监测

对于有光气设备和间歇性有人的房间的监测可以通过室内光气检测仪进行监测；对于长时间有人的房间，应在通风系统风管入口处安装光气分析仪进行监测。

##### 5.2.2.10.5 工艺分析系统

#### 5.2.2.10.5.1 基本要求

在取样系统中，应采用不锈钢（316 或更高级别的合金）取样管以及焊接接头或双卡套接头组成的取样管。在光气条件下不允许使用丝扣连接。

要尽量减少接头的数量，对小范围内的多个接头应进行封闭、吹扫和泄漏监测。此外，任何与光气接触的非金属密封件（接头、过滤器和阀门等）都应进行封闭、吹扫和泄漏监测。

所有分析室外面的取样管都应安装在线槽内。取样管无论是单管还是管束都不得安装在电缆线的线槽内。所有的组件和接头应易于接触到，并能够在佩戴空气呼吸器的情况下进行维护。

取样管线的保温、伴热等应能防止光气在管线中凝结。取样管的长度和接头的数量应考虑输送样品产生的压降。

应保证取样管中的物质能返回到工艺系统或受控的处理系统中。应使用具有阀杆密封的阀门，如波纹管密封阀和隔膜密封阀（膜密封阀）等。

分析室内的工艺分析系统试车前宜使用氦气进行泄漏测试。

分析室外的取样管线试车前应进行泄漏测试，可以用氦气进行泄漏测试，但至少做一个压力/泡沫测试。

#### 5.2.2.10.5.2 分析仪的泄漏探测

用气体对非金属密封和与光气接触的分析仪部件（比如分光计中用 O 形圈密封的玻璃窗）进行连续吹扫并监测吹扫气体中的光气与吹扫气体的流量。在吹扫气体系统中应设止回装置。

#### 5.2.2.10.5.3 样品处理

分析仪的尾气可送回工艺系统中或排放到光气破坏系统中进行处理，设计尾气处理管线时应考虑腐蚀及工艺和分解系统中可能存在的超压条件。

#### 5.2.2.10.5.4 分析室

分析仪管道系统在设计时应采用高质量密封部件以降低泄漏风险。

光气分析室应与其他房间分开建造，应避免分析室的废气进入其他房间。

处理光气的分析室需要配备光气监测器；分析室进口处配备显示每个室内探头警报和状态信号的报警面板以及通风系统的状态指示器，并且将这些警报传送至控制室。

#### 5.2.2.10.5.5 标定

宜使用不含光气的气体进行光气检测仪标定。

将光气作为混合气体的一个组份进行测量时，尤其对高光气范围进行标定时，最好使用替代方法。可靠的替代方法包括使用替代气体或使用光吸收过滤器。

#### 5.2.2.11 供电

工厂的供电应使用来源不同且带自动切换的两个独立的、可提供 100% 负荷的供电线路。

若关键系统和设备只有单路进线供电，则应采用柴油发电机或蓄电池供电的后备电源。

#### 5.2.2.12 控制室与安全室设计

有些厂区将控制室作为在化学品释放时唯一的清洁空气避难场所，有些厂区有额外的安全区域——“安全室”或“安全港”，上述两种避难场所可以采用相同的设计原则。

##### 5.2.2.12.1 设计特点

控制室与安全室或安全港的设计具有以下特点：

- a) 尽量设置在工厂的上风位置，并且远离光气或其他有毒、易燃或易爆的危险化学品源。在所有连接可能被光气污染区域的入口应设置空气锁（用两道密封门隔离出一个小的区域）。
- b) 若不是用来作为火灾逃生口，不得打开气密窗；逃生口、气密窗应设在建筑物中背向装置侧。
- c) 不应将输送包括氮气在内的化学品的管线布设在在房间的地板下或天花板夹层中。
- d) 报警和警示系统应覆盖所有涉及光气的场所；广播系统和警报系统应随时处于适用状态。
- e) 控制室应保持微正压状态，应对进风进行光气和其他有毒气体监测。有毒气体监测器报警后通风系统能够自动关闭。
- f) 应为装置所有操作人员提供足够的个人防护装备，并定期检查和维护。
- g) 自给式空气呼吸器或由压缩空气气瓶供应的呼吸空气量要满足所有人员在设计停留时间内的使用需求（空气供应量取决于预计停留人数和停留时间）。

### 5.2.2.12.2 通风系统

将通风系统的进风口设置在主导风向的上风位置，并且远离光气或其他有毒或可燃物质的泄漏源。

在进风口设置分析仪来检测有毒化学品，在探测到有毒气体时能自动关闭通风系统，并向控制室报警。为了增加安全性，也可以考虑设置多个分析仪。

控制室中应配备视频监控装置，监视所有通风设施的状态，并附有自动关闭功能。控制室中宜配备通风设施的手动控制装置，以便对分析仪进行维护。

### 5.2.2.12.3 电梯

在生产区域建筑内的电梯需配置以下设施：

- a) 为所有工作人员配备呼吸器；
- b) 在电梯内配声光报警（除非可收到外部报警）；
- c) 在电梯外注明：“紧急情况下，请勿使用”。

### 5.2.2.13 报警系统

#### 5.2.2.13.1 基本要求

当检测到光气泄漏时，应通知并警告厂区内的所有人员，必要时进行人员疏散。因此，厂区应配备声光报警和警报系统。

在紧急情况下，没有适当个人防护装备的人员不得进入装置区。

光气警报系统应配备至少持续供电 1 h 的备用电源（电池、蓄电设备或发电机等）。应保证警报信号传输到生产基地中心警报站（如工厂消防控制中心、事故指挥中心或公共消防部门），并能够清楚地识别警报的确切位置。

#### 5.2.2.13.2 区域警报灯和声音

光气生产和使用设施应配备区域警报灯。

警报灯设置在隔离间入口处、装置区角落或者楼梯间，必要时沿装置区周边以适当的间隔安装。

对于光气设施或与光气设施直接相邻的建筑物，应在其出口内侧安装同样类型的警报灯，以警告建筑物内人员。

警报灯可以由自动传感器开启，也能在控制室内手动开启。

在开放式结构的装置区内，警报灯和警报声可在现场通过以下方式手动开启：

- a) 在整个装置区的各个重要部位设置触发按钮，如楼梯入口和常规出口。触发这些按钮也可以在控制室里发出警报。
- b) 整个装置区的各个重要部位设置内部对讲系统，用于通知控制室有关警报的状态，由相关人员使用控制室内的按钮启动警报灯和警报声。

任何报警系统的启动都能在控制室内触发警报声。对多个装置紧密相邻的组合单元，应考虑装置

之间的协调。

可用文字通告板标明紧急情况所涉及区域，也可使用交通控制灯。

### 5.2.2.13.3 广播系统

应配备从控制室发出有关装置区疑似泄漏、泄漏、正在采取的行动、解除警报信号等信息的光气报警广播系统，并覆盖整个光气生产区域，包括罐区、动力控制中心、仪表室、办公室和仓库等辅助区域。

光气报警广播系统不得与任何生产厂区范围的广播系统相混淆，生产厂区范围的广播系统覆盖所有装置及设施，包括非光气生产装置和办公室。

在整个生产厂区可以协调不同的广播系统（如生产基地的多个光气装置），以保证有一个统一的警告方案。

## 5.2.3 支持和辅助系统

### 5.2.3.1 分段隔离

分段隔离是指在控制室中远程控制的切断阀将大装置分割隔离成多个小段。

光气生产装置应实施分段隔离措施，每段区域的气相空间应与光气破坏系统相连。

### 5.2.3.2 倾卸收集罐

设计的倾卸收集罐应能够容纳最大工段内的物料，并与光气破坏系统相连。

光气宜通过重力而无需用泵排放到倾卸收集罐。安装在连接工艺设备与倾卸收集罐的排放管线中的阀门宜在控制室内进行操作。

倾卸收集罐应处于排空状态。

### 5.2.3.3 排放容器

宜将压力泄放到可实现气液分离的容器中，该容器应与光气破坏系统相连。

排放容器应处于排空状态。

### 5.2.3.4 排空系统

排空系统应与光气破坏系统相连，使用双切断阀加排空的阀组将排空系统与工艺系统分隔开，主要在清理设备，为维修工作做准备和在光气泄漏时对分段内的气相区域进行排空时使用。

### 5.2.3.5 象鼻式或局部排气系统

象鼻式真空系统由弹性软管构成，该软管带有一个大的锥形开口并与光气破坏系统相连，应能耐光气和其他化学品的腐蚀。该系统用于维修工作过程中打开管道或其他设备时清除残余气雾，也可用于轻微泄漏时的有毒气体的收集及输送。

该系统不与光气条件中的其他装置永久相连。

溶剂蒸气可能会被吸进局部通风系统，应按防爆 1 区设防，吸气管线要导电，并接地。

### 5.2.3.6 呼吸空气系统

呼吸空气系统从安全空气源引出，并与呼吸器的空气管线相连。呼吸空气系统用于打开管道、进入设备或在可能接触到光气及其他有毒气体的地方实施维修作业时使用。

呼吸空气系统是由多个连接点连接到中央空气供应系统的固定管道系统，或者是瓶装的分散供应系统。

### 5.2.3.7 专用氮气系统

专用氮气系统设计压力应保证氮气能进入最大压力的设备，并防止光气倒流。防止倒流的措施包括压差联锁，不得仅使用止回阀隔离氮气系统。

#### 5.2.3.8 预防回流

溶剂冲洗系统与工艺系统应保持适当的压差，止回阀不能提供足够的保护，应考虑各压差联锁，以防止含光气的介质倒流。

#### 5.2.3.9 光气监控

装置内应设置光气监控系统，并确保检测到光气时可以触发控制室内的声光报警。

在装置关键位置应安装风向标，风向标应能在控制室中显示；在工厂高点应另外安装风向标。

#### 5.2.3.10 光气破坏系统

##### 5.2.3.10.1 基本要求

工厂中应设置光气破坏系统，所处理的物料主要来自：

- a) 光气合成部分的尾气；
- b) 光气化区域的尾气；
- c) 精馏真空系统的尾气；
- d) 装置中其他各股尾气，如储罐、分析仪和其他设备的尾气等。

宜采用冗余系统避免主要分解系统失效时光气泄漏到大气中。无论是正常生产还是停车操作，只要装置中有光气存在，就至少有一套光气破坏系统发挥作用。

##### 5.2.3.10.2 光气破坏系统的设计

光气破坏系统应安装紧急备用系统，以避免系统中因某一部分失效而导致整个系统发生故障。

通向分解系统的部分管道应使用耐酸材料，同时管道安装时U形弯不能竖直放置，而应向分解系统下游倾斜。

鼓风机出口应水平布置。若不能实现，鼓风机外壳应设置排水系统，排水应朝分解塔的正向流动。

##### 5.2.3.10.3 碱洗塔

用于事故状态下的光气排放（工艺放空）、安全阀泄放等，用于紧急事故处理，也可用于含光气尾气的处理。

该系统由单个或一系列的洗涤塔构成，洗涤塔中带有含低浓度烧碱的循环回路，宜备用一套碱洗系统。

碱液循环泵应配备一台备用泵并配备应急电源，保证烧碱有足够的持有量。

烧碱与空气中的二氧化碳反应产生碳酸钠会堵塞系统，应及时处理，并定期分析碱液浓度。

##### 5.2.3.10.4 固定填料床分解塔

固定填料床分解塔可用于正常工况含少量光气尾气的处理，不宜用于紧急事故处理。

该系统由两个或多个装有活性炭的塔组成，塔中有可将水或稀盐酸均匀分布在活性炭床的系统。宜备用一套固定填料床分解塔。

应配备一台备用循环泵，并配备应急电源，保证水或稀盐酸有足够的持有量。

### 5.3 二级安全措施

#### 5.3.1 二级隔离作用及类型

二级隔离是用于控制因一级隔离失效而引起的光气扩散，二级隔离应与光气破坏系统相连。

可选择的二级隔离措施有：

- a) 通风的、容纳光气设备的隔离房，也叫隔离间或密闭空间；
- b) 完全包裹设备和管线的夹套；
- c) 蒸汽-氨幕或氨水幕；
- d) 以上三种选择的组合。

### 5.3.2 隔离房（隔离间或密闭空间）

通风的、完全封闭的隔离空间包含所有光气设备，并配备光气探测系统，可以用来容纳任何泄漏的光气。

进入隔离房时，应对隔离房内的光气、一氧化碳、氯气等进行分析，并按安全进入程序规定进入。设计与操作需要考虑的因素有：

- a) 常压或耐压；
- b) 气密性或微负压；
- c) 风与温度控制；
- d) 带报警的光气分析仪；
- e) 带报警的其他空气污染物分析仪（如一氧化碳、氯气、可燃气体等）；
- f) 检测到光气时的通风管理系统；
- g) 定期进行性能测试；
- h) 连接到光气破坏系统；
- i) 防火；
- j) 电视监控；
- k) 人员准入；
- l) 通信系统；
- m) 带有光气报警的门（考虑气锁系统）；
- n) 为移动大件设备预留的大尺寸开口；
- o) 控制进入的程序与许可；
- p) 在隔离间内进行工作的程序和许可；
- q) 个人防护装备的规格。

### 5.3.3 夹套

#### 5.3.3.1 系统类型

夹套将光气设备、管道、法兰、阀门和仪表系统包裹在内。

监测夹层空间中的气体，并与光气破坏系统相连。

典型的夹套是完全被包裹的夹套系统和部分被包裹的夹套系统。

**完全被包裹的夹套系统：**这是一个外层带有夹套的系统，包含被密封在该外层夹套中的光气设备、管道、法兰、阀门和电子仪表系统。组成该系统的主要部件包括：双层管的管道结构、允许气流通过的法兰和垫片以及被夹套包裹的阀门和过程控制技术系统。该系统可对管道泄漏、法兰接口泄漏和管道部件的泄漏进行检测。

**部分被包裹的夹套系统：**该系统包含有双层管的管道结构，带有标准的光气法兰、垫片、阀门和过程控制技术系统。该夹套的两端通常位于法兰的中间，法兰与管线的焊缝被包含在夹套中。该系统采用在单层管道系统中使用的法兰和阀门，无法监控法兰和阀门处的泄漏。部分被夹套包裹的系统通常被用作一级措施，仅当它与蒸汽-氨幕等额外方法联合使用时，才能被考虑为二级措施。

#### 5.3.3.2 系统设计与操作

系统设计与操作需考虑的因素有：

- a) 含有光气需要被密封的设备；
- b) 对被夹套包裹的空间进行监测；
- c) 夹层空间应能够被吹扫；
- d) 夹层空间内要使用干燥的气体（惰性气体比空气好）；
- e) 夹层空间始终处于正压或真空状态下；
- d) 光气监测；
- e) 定期进行性能测试；
- f) 检测到光气时应能自动输送到光气破坏系统。

#### 5.3.3.4 蒸汽-氨幕（或氨水幕）

该系统用于分解从开放式结构中一级隔离中泄漏出的光气，并保证光气泄漏时氨不超过规定的极限值。

设计与操作需要考虑的因素有：

- a) 用环形管道围绕含光气的区域，采用单层或多层的环形管道取决于结构的高度；
- b) 带报警的光气分析仪；
- c) 向蒸汽中注入氨气的可能性；
- d) 自动或手动的启动程序；
- e) 定期的性能测试；
- f) 防止人员接触氨气的程序；
- g) 评估蒸汽气源的可用性；
- h) 氨的存储量。

#### 5.3.3.5 竣工验收检查

新装置建成后、光气引入装置之前，需要进行以下检查：

- a) 用肥皂水测试或氮气泄漏测试检查所有法兰的气密性；
- b) 根据图纸进行安装；
- c) 所有排水或冲洗连接使用盲法兰封闭；
- d) 检查和测试电气仪表的安装以及 DCS 程序与媒介（如溶剂或氮气）的循环；
- e) 用媒介（即溶剂或氮气）循环测试，检查电气仪表和 DCS 程序；
- f) 检查所有的联锁；
- g) 对二次隔离进行检查；
- h) 确保预警和公告系统正常工作。

所有的检查都应由相关专业人员执行。

已有装置工艺设备设施变更、DCS 系统变更或打开法兰进行维修后、在把光气引入装置之前，同样需要由专业人员对相关部位、功能进行全面检查。

## 6 操作管理和安全程序

### 6.1 企业的义务

企业应采取一切必要措施，防止事故发生。工厂设计应采用和保持优良的程序和技术，将风险尽可能降低到合理可接受的水平。为此，应主要从以下方面考虑：

- a) 光气生产和处理单元的风险；
- b) 工厂的具体选址风险，包括地震、海啸或洪水等自然风险；
- c) 恐怖活动的风险。

## 6.2 安全管理体系和安全标准化

### 6.2.1 管理体系

企业宜建立并实施安全管理体系（SMS）。安全管理体系的主要目标是为化学装置的操作、危险化学品处理，特别是光气提供总体的安全理念。

所有影响光气安全的管理人员、执行人员、检验人员的职责都要予以规定。高级管理层应承诺实现高水平的危险控制标准。

员工以及承包商等其他出现在设施中的人员，应当参与制定管理重大危险源的安排以及这些计划的执行。对于承包商应当特别注意的是，确保其获得必要的信息和培训。

企业应当制定并实施相关程序，系统化辨识、评价各种活动以及这些活动所涉及处理、生产的物质及材料所引起的危险（在正常和非正常条件下）。这些程序应当在 SMS 中予以描述。同时也应有系统化阐述预防事故发生措施和减轻事故后果严重程度措施的程序。

企业应当对危险辨识和风险评价程序给出的工艺危险、设计极限、操作极限和控制等信息做好准备，不断更新，保持随时可用。为了确保工厂、工艺、设备和存储设施的安全设计及运行，SMS 应当描述文件化的相关程序。与运营安全有关的所有活动都应当规定安全的工作规程。

应当与那些需要遵守规范的员工共同开发这些工作的程序、操作指南和方法，并用他们可以理解的方式表达。经营者应确保实施这些程序，并提供必要的培训。

企业应当采取、执行并管理这些程序，以规划和控制能影响重大事故控制的有关人员、工厂、工艺及工艺变量、材料设备、程序、软件、设计或外部环境的所有变化。这种方法应当覆盖永久的、临时的和紧急操作的变化，以及管理计划自身的变化。

SMS 应包括必要的程序，以确保制定、采用和实施适当的应急预案。应当假定事故情景，综合考虑经系统隔离后释放出的最大物料量以及有效的降低后果严重程度措施。应急方案的详细内容见本指南第 11 章。

SMS 应当描述企业如何维持的程序，以确保能够监测安全绩效，并能与确定的安全目标进行比较。

除了例行的绩效监测，企业应当把 SMS 的定期审核作为其经营活动的常规内容。

### 6.2.2 安全标准化

企业应按 AQ/T 9006 及 AQ 3013 的要求开展安全生产标准化工作，建立安全生产标准化系统，以隐患排查治理为基础，通过自我检查、自我纠正和自我完善，建立安全绩效持续改进的安全生产长效机制，提高安全生产水平，减少事故发生，保障人身安全健康，保证生产经营活动的顺利进行。

## 6.3 工艺安全管理

### 6.3.1 安全审查

#### 6.3.1.1 基本要求

在工厂工艺开发和整个生命周期（设计、施工、运行及改造）中，都应进行详细的安全审查，以识别其对人和环境的重大风险，并消除或减少潜在的危害。

#### 6.3.1.2 初步安全审查

在工艺路线开发阶段应进行初步安全审查，以确定对所涉及的物质和反应的安全数据，并确定工艺条件。

#### 6.3.1.3 基础安全审查

在装置设计阶段，应进行系统的基础安全审查，讨论所有主要工艺和装置的安全问题。在该阶段结束时，应汇总用于开展详细设计所需的所有与安全相关的信息，并制定基本安全对策。

### 6.3.1.4 详细安全审查

详细安全审查是以危险与可操作性分析 (HAZOP) 的方法进行的审查, 应在装置开工建设之前完成。它应由经验丰富的工艺安全专家负责, 并建立在具有详细的工艺描述、技术图纸 (P&ID 图、过程控制技术信息、管道和设备规格、工厂布局计划等) 和工艺安全数据的基础上。

### 6.3.1.5 开车前安全审查

在光气装置开车之前, 应通过对装置的检查和对功能设备的测试, 对所有安全设施进行检查和检验。对尚未解决而需要进一步采取措施的项目应详细记录, 明确界定开车前需要解决的问题。

### 6.3.1.6 工艺和装置变更的安全审查

对现有装置的任何工艺、介质或设备进行变更前, 应评估该变更是否会影响现有的安全。如果是, 就应对其进行详细安全审查。规模比较小的变更, 可以通过变更管理程序 (MOC) 进行记录和管理。对比较重要和复杂的变更, 应作为一个新的工艺或装置的项目来管理, 需要进行新的、系统的工艺危害分析。

### 6.3.1.7 周期性的安全审查

对现有的光气装置进行详细的周期性的安全审查 (工艺危害分析), 通常每 5 年进行一次工艺危害分析。图 3 列出了处理光气生产装置的安全审查次序。

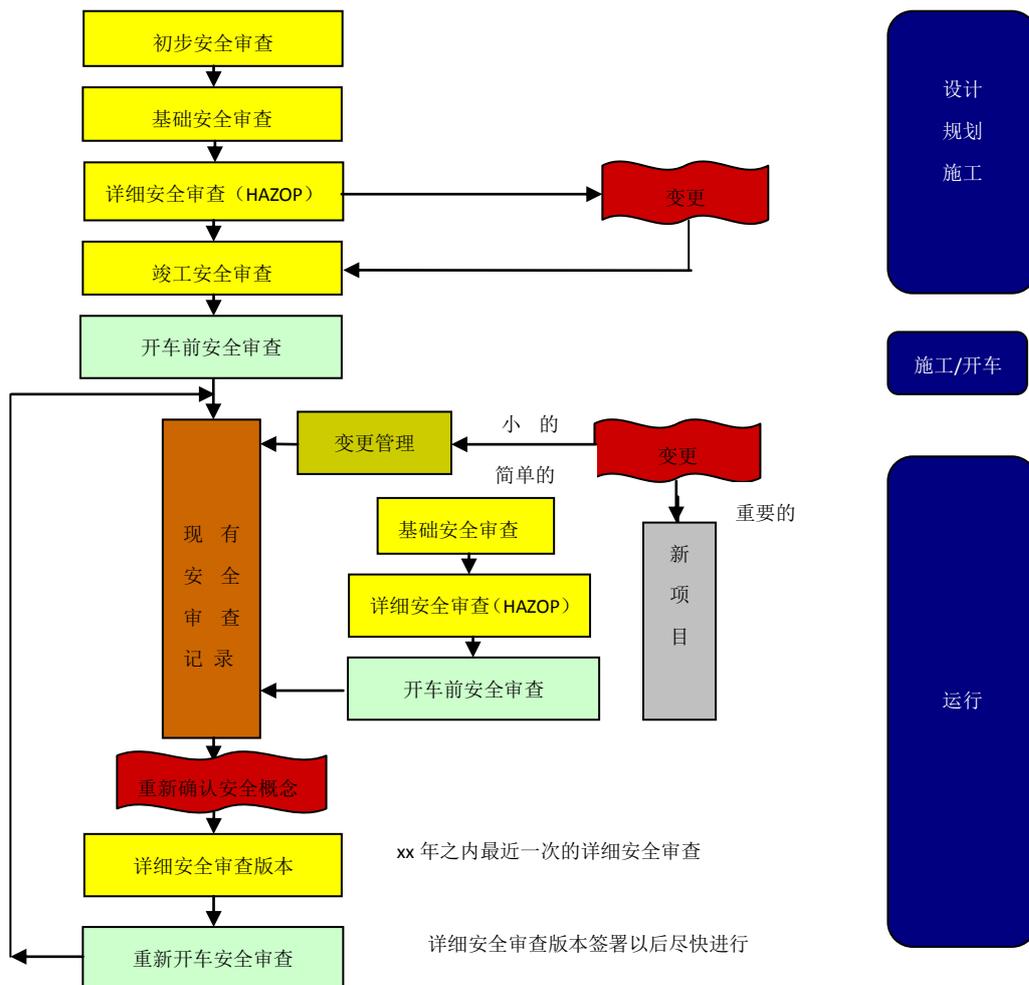


图 3 处理光气生产装置的安全审查次序

## 6.3.2 工艺危害分析（详细安全审查）

### 6.3.2.1 详细安全审查的主要方法

详细安全审查应通过工艺过程危害分析的方式进行。已应用的几种详细安全审查的方法如下：

- a) 失效模式和影响分析（FMEA）；
- b) 故障树分析；
- c) 本质安全审查；
- d) 保护层分析（LOPA）/防御线；
- e) 风险定量评价（QRA）；
- f) 危险与可操作性分析（HAZOP）。

### 6.3.2.2 详细安全审查的主要原则

所有的安全审查方法应遵循相同的原则，主要原则有：

- a) 系统的危害识别；
- b) 评估存在的风险；
- c) 制定适当的安全措施。

由各主要职能部门经验丰富的人员组成的团队（如装置经理、装置和电仪工程师、生产专家、装置操作人员、HSE 专家、消防队员以及工厂和工艺安全专家等）来做出正确的风险评估，然后制定适当并且有效的安全措施。

对于那些对可靠性要求高的安全任务，要尽量少使用人工手动干预程序，并且尽量用技术措施替代。

## 6.3.3 操作程序

### 6.3.3.1 操作程序的基本要求及分类

确保光气装置安全运行的所有活动，都在装置操作程序中详细描述。

操作程序应始终保持最新，一般每 3 年修订一次。操作程序可分为标准规程和安全规程两类。

### 6.3.3.2 标准操作程序（SOP）

标准操作程序是装置的操作指南，应当包含以下程序：

- a) 开车（如在停车维修后）；
- b) 停车（如在停车维修前）；
- c) 生产负荷变动；
- d) 工艺波动；
- e) 对工艺偏差的处理；
- f) 关键工艺参数的定义（包括报警和联锁设置）。

### 6.3.3.3 安全规程

安全规程应当确保没有被标准规程涵盖的活动是安全的。应特别注意那些必须在工厂的光气工作区域进行的活动。

#### 6.3.3.3.1 光气工作区域界定

光气区域通常是指装置含有液态或气态光气及其混合物的区域，如在工厂二次隔离边界以内的区域。其他有毒气体如一氧化碳和氯气也会在光气区域中使用。

### 6.3.3.3.2 工作程序

在光气条件或光气工作区域内工作时，主要应考虑以下重要因素：

- a) 需要配备适当的个人防护装备；
- b) 要对即将开始的工作做充分地描述，包括风险评估；
- c) 从事管线维修工作时，要有安全监护人员在场（安全监护人员不允许参与工作）；
- d) 在工作前、工作中以及工作后，都要告知危险区域。

光气系统中计划开展的工作应在有效的工作票签发后才能实施，详见 6.3.4。

### 6.3.3.3.3 对光气设备脱除光气的标准程序

如果含光气的设备需要打开进行维修、清洁或检查，应进行适当的准备和净化，避免光气泄漏和工作人员接触的风险。

应使用标准详细的程序来规范对光气设备的停车、脱除光气以及清洗置换设备，对每种类型的设备都包括以下方面：

- a) 隔断该设备与其他工艺装置；
- b) 用适当的溶剂冲洗设备；
- c) 用氮气吹扫设备；
- d) 对设备抽真空来蒸发液体残留物；
- e) 用蒸汽吹扫；
- f) 用氨或烧碱净化；
- g) 用水、烧碱或氨水冲洗设备；
- h) 用氮气或其他惰性气体排空及吹扫设备；
- i) 在去光气化或开放时，把设备连接到分解系统；
- j) 在处理前，认真净化光气生产用过的催化剂；
- k) 垫圈或固体残渣可能包含光气残留；
- l) 在进入设备进行如移除塔内件等工作前，要对设备进行脱污清理，并配备包括呼吸空气在内的适当的个人防护装备；
- m) 其他标准光气工作程序的典型任务，如光气泄漏修复、进行常规和非常规采样、对设备进行保养、维修或在装置外处置设备等。

### 6.3.4 工作许可（针对光气）

在开放的区域，应采取针对光气装置的工作许可制度。光气工作许可应包含对所要完成的工作的准备和执行的详细说明。此外，还有针对工作场所及其周围环境的技术上和组织上的预防措施。

确保只有授权人员才有限额发放工作许可。遵循“双重控制原则”，光气工作许可不能由同一个人填写并审批。

工作许可（针对光气）应在接近工作开展前完成并审批。在开始工作时，操作主管应明确该工作许可的内容和要求。自工作许可审批后，批准采取的步骤不能改变。

工作许可（针对光气）应当对实际的风险状况进行评估，尤其是在以下风险增加的情况下：

- a) 不可预见的情况；
- b) 装置以不符合正常程序的方式被迅速关闭；
- c) 装置的某部分不能得到充分的冲洗或不能正常排水；
- d) 在以前类似的工作中遇到过问题；
- e) 准备步骤的有效性不能得到充分评估。

避免违背工作顺序，否则可能出现危险状况。如果不能按照计划来完成已许可的工作，则应中断工作并确保该区域的安全，直到新的工作计划被批准，并签发新的工作许可，才能重新开始。

在发生光气泄漏事件时，装置人员应该根据应急响应程序来做出反应。

### 6.3.5 取样

#### 6.3.5.1 总体要求

减少取样将减少光气泄漏到环境的潜在风险。在对含光气的样品取样时，应使安全系统处于正常的工作状态，同时需要有书面的程序并严格执行。

在生产车间、实验室及试验工厂取样时，应配有包括自给式空气供给在内的个人防护用品。取样点的位置应该便于进入和操作，并且有通风设备去除游离气体。

#### 6.3.5.2 常规取样

常规取样是指在生产车间的取样计划中列明的取样点、取样频率等。

对那些液相的样品，如光气溶液，应密闭取样，将密闭取样箱连接到光气破坏通风系统。在取样时应确保通风系统正常工作。

为避免取样前的吹扫，取样阀门应能彻底关闭。取样器最好可控制取样量，以防止大量产品进入收集罐。取样过程应有经过安全审批的书面程序。

#### 6.3.5.3 非常规取样

非常规取样是指没有在生产车间的取样计划中列明的取样。

如果是在含光气的物料里取液态样品，应采用合理的取样平台。不锈钢的圆柱形取样容器或其他方法可以用于非常规取样，但这些容器不能敞开。

非常规取样过程也应有经过安全审批的书面程序。

#### 6.3.5.4 气体取样

气体取样不常用。取样时通常用不锈钢的圆柱形取样容器，要防止光气泄漏。气体取样最好用带有固定管线连接在线取样器，取样结束后可以通过工艺上的旁路或维修废气分解系统或现场废气分解系统的排空管线泄压。

气体取样过程也应有经过安全审批的书面程序。

#### 6.3.5.5 溶液取样

尽量少用在线取样器取纯的光气溶液样品。如果必须要取光气溶液样品，要用可以中和光气溶液的取样器。

这类取样设备有固定取样量的取样器，取样器中有预先称重过的氢氧化钠（NaOH）溶液，可以和光气反应。光气的浓度可以通过滴定计算所剩盐酸（HCl）的浓度获得。

另一种方法是在样品中不用氢氧化钠（NaOH）而用溶剂，溶剂需称量。这时样品中仍含有光气，会造成污染。

## 6.4 设备安全管理

### 6.4.1 检查

#### 6.4.1.1 总则

应对光气单元的所有技术设备进行运行检查。按照法律、法规、标准、规范及企业的特殊要求对技术设备进行检验，如压力容器、换热器、管道（需要二次检查的）、压力泄放装置等。

可以使用基于时间的方法或基于风险的方法（RBI）进行检查，两种方法都是常用的。检验的时间

间隔通常由当地的规章条例决定，但是 RBI 方法也可以针对每个具体配件的相关故障、危险程度的可能性，改变检验时间间隔以及检验范围。

长期空置的设备，应用惰性气体进行保护。

#### 6.4.1.2 基于时间的检查（传统方法）

基于时间的检查有以下 4 种类型：

- a) 对压力容器进行内部检查；
- b) 外部检查；
- c) 泄放装置的测试以及爆破片的检查；
- d) 管道检查。管道检查可以压力测试或适当的非破坏性检查方法，如 X 光检查、超声波壁厚测量、泄漏测试、外部检查等。

在壁厚测量时，建议特别注意保温层下的外部腐蚀。

检查间隔时间要根据当地或企业的规定来决定，但两次内部检查的间隔时间通常不少于 5 年。

检查时间间隔是基于时间的检查方法制定的，适用于光气的检验。当地的规范和规章条例对检验时间间隔的要求更短的情况除外。

#### 6.4.1.3 基于风险的检查 (RBI)

RBI 方法是一种按风险优先顺序排序，以管理检查项目的实施、改变检查周期以及维修资源的方法。RBI 提供了一个确定检查方法和频率最优组合的方法，可用于分析其相应的失效率以降低失效率。

RBI 可适用于所有光气领域的设备，并作为传统的、基于时间的检查方法的一种替换方法，这种方法在 API580/581（美国）、RIMAP Workbook（欧洲）的文件中有详细的描述。

#### 6.4.1.4 维修、维护或处理的设备准备工作

本部分也适用于所有将被废弃或报废的设备。

这里所提到的设备为所有与光气接触的器械，如离心泵、真空泵、反应器、换热器、管道、管道部件及过程控制技术设备，如控制阀、压力计、流量计和过程分析仪器技术分析仪等。

离开装置的任何器械都要进行净化并证明没有携带光气，见 6.3.3.3.3。

最好能在工厂内或特殊净化设备内完成完全的净化。考虑使用光气试纸或便携式检测设备，净化通常是用氨水（或类似物质）去清洗各个组成部分，并制定书面程序详细说明。

根据工厂装置的要求和可用性，应有一个专门的房间（净化室），并配备排气系统和固定式呼吸空气供给系统。

设备应拆卸到可以验证没有光气残留的所有部位。这可能需要解体设备，但仍有可能无法确认整体组件是否携带光气。可能包含在这个类别中的部分有密封电动泵定子，手动阀或控制阀波纹管部分、垫片等。

工厂人员审慎评估所有被发送出去的部分，以确保即使是整体组件也不包含光气。

下面是基于经验或最佳做法制定的净化步骤：

- a) 移开软的部分（垫片、填料、座环垫圈、衬套、阀片、旋塞阀等）；从设备上确保没有光气残留；
- b) 要特别注意波纹管和复合波纹管，以确保它们是没有携带光气的。b)

#### 6.4.2 维护

记录光气设备的维护，包括如何保养、维修和检查。这些工作可由公司或承包商人员执行。

通过承包商审查过程来选择符合公司要求的承包商。仅使用经过培训的、知晓工厂安全指南以及积极参加工厂应急演练的合格人员。

在维修光气设备之前，应用溶剂进行冲洗，用氮气进行吹扫并排空，见 6.3.3.3.3。建议使用“象鼻”或局部通风系统，在打开法兰时，去除残留的气体。也可以通过法兰的两侧抽真空来实现。

出于安全考虑，在设备离厂进行维修或处理时，应保证设备上没有光气或固体残留，尽可能拆解设备和垫片来确认光气是否存在。

## 6.5 变更管理 (MOC)

### 6.5.1 概念及步骤

变更管理是指在实施非同等的替换前，审查并确认所有变更的过程，以确保：

- a) 所有的变更都经过审查与批准；
- b) 创建或更新与变更相关的文档，供相关人员得到并使用；
- c) 进行相关培训并记录；
- d) 告知相关人员。

相关人员职责以及批准变更的管理级别需要在 MOC 流程中明确界定。图 4 给出了变更管理的总体步骤。



图 4 变更管理总体步骤

### 6.5.2 评估

变更管理的过程应包含永久变更和临时变更，对下述方面的改变和修改都应根据其对健康、安全和环境保护的潜在影响进行评估，并在 HSE 方面与遵守相关适用法律规范的情况下实施：

- a) 技术设备和设施；
- b) 工艺和程序（技术，化学和行政）；
- c) 组织、人员级别；
- d) 产品。

## 6.6 人员培训

### 6.6.1 作业人员

#### 6.6.1.1 总体要求

应对装置人员进行个人防护装备的使用培训，并根据相关法规、标准有针对性地对培训内容定期更新，由训练有素并且经验丰富的生产和维修人员来操作和维护光气生产运行装置。

只允许接受安全培训并配备规定个人防护装备 (PPE) 的人员进入光气生产区域。

进入装置时，员工应使用企业指定的防护服装和装备，包括佩戴的光气指示牌（上面标有员工的姓名和日期）。同时应随身配戴逃生器具（只用于需要撤离装置的紧急情况，不能够替代在装置内作业时使用的空气呼吸器），并检查逃生器具是否处于良好状态（如滤芯的有效期日期）。

#### 6.6.1.2 基本资质

新员工完成了常规的生产技术培训（如动设备的基本知识，过程控制技术、仪器及化工装置其他典型设备的功能），还应接受特定装置的培训，包括光气的物理、化学性质及危害，光气设备及工艺的标准操作程序等。培训应包括以下内容：

- a) 开车程序；
- b) 停车程序；

- c) 正常操作参数及流程;
- d) 在正常操作参数范围外操作的后果;
- e) 应急程序、行动。

培训计划将安排在职培训, 包括被培训人员的特定单元操作。培训方式包括讲授、讨论、仿真模拟、桌面演练、应急演习等。

当计划停车时, 则应该考虑确保有操作经验(开车、停车以及维修工作的准备)的员工在场。

#### 6.6.1.3 操作含光气设备员工的持续培训

员工获得操作含光气设备的资格后, 应定期通过适用于含光气部分的装置操作和异常条件的桌面演练来提高操作水平。

进行复训和其他主题培训也是常规做法。

另外, 应定期进行装置疏散演练。

#### 6.6.1.4 含光气设备维修人员的培训(来自公司或长期承包商)

应将光气合成和处理装置的维修作业安排给训练有素、经验丰富和有资质的人员。

在进入光气装置工作之前, 应告知所有人员以下内容:

- a) 在光气区域工作的潜在危害;
- b) 工作计划的内容;
- c) 在泄漏或其他紧急状况下的应急响应。

向员工发放适当的个人防护装备和逃生器具。

担当维修工作的承包商员工, 应接受与公司员工相同的培训。

#### 6.6.2 有日常事务的服务和承办人员培训

要对经常在光气区域工作的公司服务人员和承包商人员进行与操作人员同样的培训, 并且要进行记录存档和更新。

#### 6.6.3 承包商培训

首次或只是偶尔在光气区域工作的承包商的人员, 在工作前应接受广泛的安全培训, 包括装置的危险性以及正确的个人防护装备等。工作许可将详细说明承包商是否可以在不受监督下工作。

#### 6.6.4 光气装置访客

访客是那些进入光气区域但不直接参与工作活动的人员。

访客在进入光气操作区域之前应采取的措施如下:

- a) 告知访客光气的基本特征(气味, 密度等);
- b) 给访客发放光气指示牌并告知其正确的使用方法;
- c) 告知访客其访问区域的报警方案以及逃生出口或疏散流程, 可通过观看安全录像或简单介绍来进行;
- d) 向访客讲解如何使用其所访问区域的逃生器具;
- e) 装置人员陪同访客访问, 并负责访客的安全。

#### 6.6.5 文档

应对参加讲解、培训课程以及其他审批活动进行管理并记录。

对轮班的员工所进行的培训, 要对所有参加培训的员工进行记录。对不能参加培训的轮班员工, 则应进行补充培训并加以记录。

## 6.7 自我评估

企业应有光气处理装置安全审查的常规性安全管理系统。安全审查应由长期从业的有经验的人员执行。

光气安全审查的重点是：

- a) 员工和人员的表现（工作的安全行为、事故统计）；
- b) 工艺和设备状况（特别是装置的安全状况）；
- c) 流程，技术图纸和说明的更新；
- d) 装置安全性能（事故、光气泄漏、溢出、装置异常状况）。

光气安全审查的结果应存档，项目的落实和审查建议的执行应跟踪和监督。

## 6.8 事件、事故管理

### 6.8.1 重要性

完整的事件、事故调查可以找出以前忽视的物理的、环境的或工艺的危害，新的或更广泛的培训需求，以及不安全的工作方法。

事件、事故调查的关注点是确定该事件原因以及从中吸取的教训，以防止今后类似的事件发生。

企业的事件、事故信息和管理系统中应包括事件、事故调查报告以及有关的信息。适当时，吸取的经验教训应通过既定的程序来实现共享。

### 6.8.2 事件、事故调查

事件、事故调查应由该领域专家以及知识丰富、具有长时间工作经验的工程或工厂管理人员进行，确定纠正措施并及时实施。

按照文件化的变更管理（MOC）过程对事件、事故调查所建议的措施进行评审和批准。

### 6.8.3 根本原因调查（RCI）

#### 6.8.3.1 根本原因调查的目标

应利用现有的方法对所有严重的和潜在严重的事件进行根本原因调查和分析，是找到问题和事故真实原因的一种系统化的方法。

根本原因调查的目标是：

- a) 确定失败和成功的原因；
- b) 确定起作用的因素；
- c) 确定纠正措施，避免同类事故的发生。

#### 6.8.3.2 根本原因调查的情形

以下情况下需要进行根本原因调查：

- a) 人员安全和健康事件、事故；
- b) 工艺安全事件；
- c) 一级隔离失效，出现泄漏和外溢；
- d) 潜在严重事故（未遂事故）；
- e) 环境事件；
- f) 工艺安全阀泄放或爆破片破裂；
- g) 经常性设备故障（例如腐蚀或机械故障）；
- h) 安保事件等。

根本原因调查如图 5 所示。

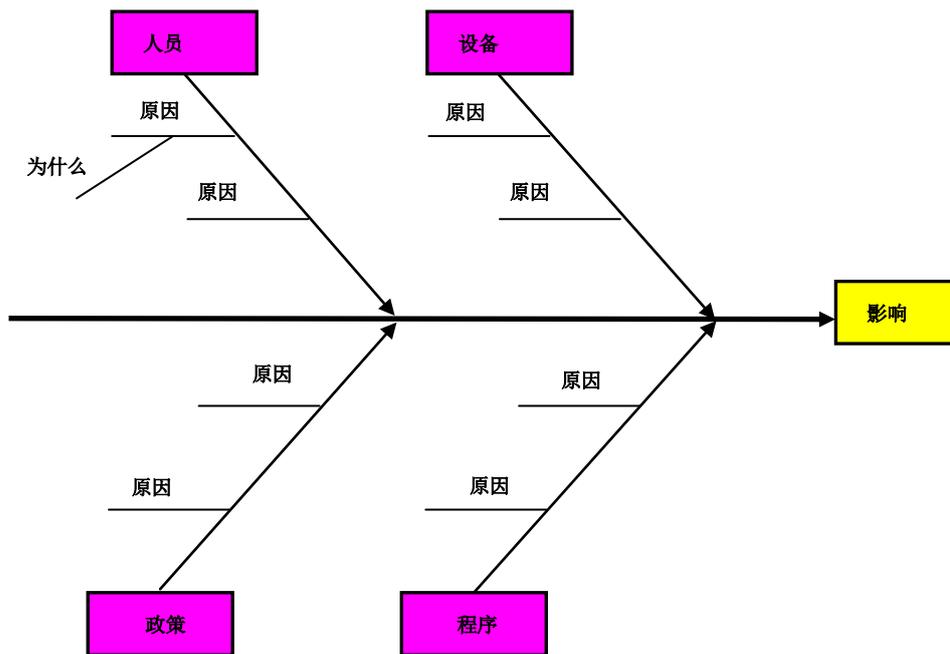


图 5 根本原因调查图（鱼骨图）

## 6.9 运输

光气生产装置应靠近光气化生产装置，不应从外地或本地区的其他生产厂运输光气和异氰酸甲酯供生产使用。当以研发、校准或分析为目的运输实验室规模或非常少量的光气、双光气或三光气时，需采取特殊的预防措施。双光气与三光气的使用与存放安全参见附录 A。

## 7 毒理学和管理标准

### 7.1 光气的毒理学作用模式

由于其吸入毒性，光气已经受到了广泛的毒理学关注。主要集中在短时间、高浓度吸入光气引起非心源性急性肺水肿作用机制研究。在生物反应中，光气是众所周知的酰化剂，能与构成细胞的重要的生物分子基团如氨基，羟基和巯基反应。

通常，以急性肺水肿和淋巴液渗漏为表现的肺毒性在暴露光气后 10~20 h 达到峰值；此时机体组织得到修复。有关减轻光气诱导的急性肺损伤的应对措施的系统研究也已发表。

光气在水环境下的低水溶性和低水解速率特性使其易于渗透进入肺部的血气交换区域，而不引发机体的刺激性体征。目前的实验证据显示光气主要在肺泡发生作用，其程度与浓度乘以暴露时间 ( $c \times t$ ) 成正比。这种简单、直接的作用机制也可从陡峭的  $c \times t$  关系证明。单次和重复的亚慢性暴露证实慢性毒性效应取决于产生该局部慢性效应的急性发作，这使得实际上两种暴露方式的无可观察有害作用水平 (NOEL) 一致，即与实验的暴露时间是急性的或者是亚慢性的无关。

与水溶性更强的刺激性气体相反，呼吸道的毒性或者迟发性吸入毒性（例如闭塞性细支气管炎）并未在光气毒性的实验模型中发现。

毒理学和管理标准有关资料网站参参见附录 B。

### 7.2 光气的暴露限值和标准

#### 7.2.1 工作场所、一般人群应急预案指南

由于光气的意外暴露可能会造成大范围的严重伤害，所以有必要提出科学的危险度评估方法来指导光气生产或使用场所采取合适的危险控制措施、周边区域的事故风险区域预测。

### 7.2.2 应急响应预案指南

光气限值包括：US-AEGL-values，EU-AETL 值和 ERPG (Emergency Response Planning Guidelines, ERPG; 应急响应计划指南)。光气急性反应推荐浓度限值见表 1。

表 1 光气急性反应推荐浓度限值

项目名称	10 min	30 min	60 min	2 h	4 h	8 h
AEGL - 1 (Nondisabling)	NR	NR	NR	NA	NR	NR
AEGL - 2 (Disabling)	2.3	0.77	0.38	NA	0.096	0.048
AEGL - 3 (Lethal)	7.8	2.6	1.3	NA	0.33	0.16
ERPG - 1 (Nondisabling)	NA	NA	NR	NA	NA	NA
ERPG -2 (Disabling)	NA	NA	0.5	NA	NA	NA
ERPG - 3 (Lethal)	NA	NA	1.5	NA	NA	NA
LDSA	16					
AETL - 1 (Nondisabling)	2.5	0.73	0.34	0.16	0.072	0.033
AETL -2 (Disabling)	4.5	1.3	0.62	0.29	0.13	0.061
AETL-3a(@01/ 05/50)	22/28/ 53	6.4/8.3/ 15	2.9/3.8/ 7.1	1.3/1.7/ 3.2	0.62/.80/ 1.5	0.28/0.37/ 0.68
AETL -3b (Lethal)	7.3	2.1	0.97	0.43	0.21	0.093
NIOSH-IDLH	NA	2	NA	NA	NA	NA

注 1：所有浓度均以 ppm 表示，ppm 与 mg/m<sup>3</sup> 的转换系数为 4。  
 注 2：AEGL-1 为物质在空气中的某一浓度（以 ppm 或是 mg/m<sup>3</sup> 表示），当高于此浓度时，预计会引发一般人群（包括敏感个体）出现不适、刺激或是特定的觉察不到的效应。然而这些效应是暂时的和可逆的，当暴露停止时会消失。  
 注 3：AEGL-2 为引发不可逆或其他严重的长期存在的健康损害，或是不可避免的损伤的有害物质在空气中浓度。  
 注 4：AEGL-3 为有毒物质引发直接死亡或致命疾病的在空气中的浓度。（详情参看 NRC, 2001； AEGL, 2002； ECETOC Technical Report 87）。  
 注 5：AEGL=急性暴露指南阈值(AEGL, 2002; 包括 2010 的临时阈值)，美国国立研究院发布了关于 AEGL 的导出指南。指南由美国环境保护署、污染预防及毒物管理处发布。  
 注 6：AETL：急性暴露限值（非法律上的欧洲限值，2005 年 10 月更新）。  
 注 7：AETL-3b: 一般人群在特定暴露时间, 不引发致命健康伤害和直接死亡的有毒物质最高浓度。AETL-3b 与 AETL-3a 区别是，后者指一般人群中会出现一定比例死亡的浓度。01/05/50 代表相应的比例分别为 0.1%、5%、50%。  
 注 8：ERPG: 应急响应计划指南(AIHA, American Industrial Hygiene Association, 美国工业卫生协会)，2002 年 3 月更新)。  
 注 9：LDSA：不同的感知水平。  
 注 10：NA：不适用；NR：由于数据不足无推荐值。  
 注 11：NIOSH-IDLH：国立职业安全与健康研究所-立即威胁生命和健康浓度；NIOSH 推荐暴露限值为确保工作者能从可能导致死亡或是即时或延迟的永久健康伤害或是导致逃脱能力降低的环境中逃脱；IDLH 是根据暴露 30 min 后的可能后果确定的浓度。  
 注 12：AEGL：保护一般人群的暴露上限阈值，一般人群包括易感者（老人、儿童、孕妇和患者）但不包括高度易感者（不稳定健康状态的个体）和非常特殊的个体（对特定呼吸致敏物质的过敏者）。

### 7.2.3 职业暴露限值

职业暴露限值是用成人劳动者每天暴露 8 h，每周暴露 5 d 的时间加权平均浓度描述的。

表 2 节选了中国、美国和德国工作场所的限值。

表 2 职业暴露限值节选（2009 年修订，2011 年 10 月公布）

组织	限值	数值
ACGIH	TLV (TWA)	0.1
EU-SCOEL	IOELV (TWA)	0.1a
EU-SCOEL	IOELV (STEL)	0.2a
DFG-MAK	MAK (TWA)	0.1
DFG-MAK	MAK (STEL)	0.2
China GBZ2.1-2007	MAC (TWA)	0.125
NIOSH	REL (TWA)	0.1
NIOSH	REL (C)	0.2
OSHA	PEL (TWA)	0.1
OSHA	PEL (STEL)	NA
UK-HSE	WEL-LTEL	0.02
UK-HSE	WEL-STEL	0.06

注 1: 所有浓度均为 ppm, ppm 转换为 mg/m<sup>3</sup> 的系数是 4;  
 注 2: ACGIH: 美国政府工业卫生学家会议。  
 注 3: DFG-MAK: 德国研究基金会 (DFG), 最大工作场所浓度, MAK 和 BAT 值列表; 光气的限值在 2006 年重新评估并更新 (当前无可用的发表信息)。  
 注 4: IOELV: 预测性职业暴露限值。IOELV 是欧洲法定限值, 用以保护欧盟的工人。光气的 IOELV 在 2000 年 6 月 8 日发布, 但在 2009 年进行了修订 (尚未发布)。  
 注 5: PEL: 容许暴露浓度。  
 注 6: REL: 推荐暴露浓度。  
 注 7: SCOEL: 职业性暴露限制科学委员会。  
 注 8: STEL 或 C: 短时间接触限值; 该限值的描述为工人短时间暴露在该浓度下, 不致于出现: 1) 刺激作用; 2) 慢性或不可逆的组织损伤; 3) 麻醉作用达到足以增加可能的意外伤害, 降低自救能力和实际降低工作效率的程度。STEL 通常指 15 min 的 TWA, 每次持续接触不超过 15 min, 每工作日接触不得超过 4 次, 两次持续接触间隔至少 60 min 的时间加权平均浓度限值。  
 注 9: TLV (TWA): 时间加权限值, 指一个正常 8 h 工作日或一个 40 h 工作周中以接触有害物质的时间为权数, 计算所得的平均浓度。该限值是容许超过的, 但在工作日中需有低于限值的相应补偿时间。  
 注 10: China-MAC: 中国工作场所空气中化学物质的最高容许浓度。浓度值为 0.5 mg/m<sup>3</sup> 等于 0.125 ppm。  
 注 11: UK-HSE WEL: 英国健康与安全管理局。EH40/2005 工作场所暴露限值。The Stationery Office, London, 2005; LTEL: 长期暴露限值; STEL: 短期暴露限值。

急性 REL 为间歇的暴露总时长为 1 h, 不会导致一般人群 (包括敏感的亚群等人群) 产生不良作用的浓度。

## 8 职业健康

### 8.1 职业危害申报

企业应及时、如实向所在地安全生产监督管理部门申报光气的职业病危害, 并接受安全生产监督管理部门的监督检查。

### 8.2 教育培训与个体防护

#### 8.2.1 教育培训

8.2.1.1 企业的主要负责人和职业卫生管理人员应当具备与本单位所从事的光气及光气化产品生产经营活动相适应的职业卫生知识和管理能力，并接受职业卫生培训。

企业主要负责人、职业卫生管理人员的职业卫生培训，应当包括下列主要内容：

- a) 职业卫生相关法律、法规、规章和国家职业卫生标准；
- b) 光气危害预防和控制的基本知识；
- c) 光气卫生管理相关知识；
- d) 国家安全生产监督管理总局规定的其他内容。

8.2.1.2 企业应当对劳动者进行上岗前的职业卫生培训和在岗期间的定期职业卫生培训，普及职业卫生知识，督促劳动者遵守职业病防治的法律、法规、规章、国家职业卫生标准和操作程序。

企业应对职业病危害严重的岗位的劳动者，进行专门的职业卫生培训，经培训合格后方可上岗作业。

因变更工艺、技术、设备、材料，或者岗位调整导致劳动者接触的职业病危害因素发生变化的，企业应当重新对劳动者进行上岗前的职业卫生培训。

8.2.1.3 接触光气的各类人员的具体培训内容见6.6。

## 8.2.2 个体防护

接触光气的各类人员的个体防护见 6.6。

## 8.3 职业危害管理

### 8.3.1 基本要求

职业危害管理应以分级控制即工程控制→行政措施→个体防护为原则进行。

鉴于光气不可避免也不能被替代，技术解决方案成为第一步（类似封闭空间、整体与局部通风等工程控制）。

若不能完全避免接触光气，除了需采取相应的行政、组织措施外，还应使用个体防护装备（PPE）。

在紧急情况下，应向特定员工提供逃生器、过滤面具以及自给式呼吸器，同样需为参观者提供逃生器。

### 8.3.2 工程控制措施

光气的工程控制措施详见第 6 章操作管理和安全控制程序。

### 8.3.3 行政措施

非工厂人员在无人陪同时，不得进入工厂。只有已经过光气和紧急情况处理培训的工厂人员，和已被详细告知光气相关知识且在工厂人员监督下的承包商才能进入工厂。

应为每位工人配备呼吸防护装备（过滤面具）。一旦有警报或发生光气泄漏，所有人员应戴上过滤面具，立即撤离工厂。

一旦发生泄漏，在泄漏源被关闭、工厂达到良好通风之前，只允许受过训练并且佩戴自给式呼吸器的应急人员重返现场。

仅当配戴自给式呼吸器或由一根与固定安装的空气呼吸系统相连的软管供应空气呼吸的过滤面具时，方可进行管线和阀门开关等工作。

若允许外来参观者进入工厂，则参观者应随身携带逃生器，且确定他们被告知或培训了逃生器的使用方法。

### 8.3.4 个体防护

企业应为劳动者提供符合国家职业卫生标准的职业病防护用品，督促、指导劳动者按照使用规则正确佩戴、使用，并对职业病防护用品进行经常性的维护、保养，确保防护用品有效。

除通常的安全鞋、手套、安全防护眼镜或眼罩、工作服（包括连衣服）等防护装备外，以下4个等级的呼吸防护是个体防护的关键：

- a) 逃生器。应让每位工人都随身携带逃生器。进入光气装置的参观者也应随身携带逃生器；
- b) 过滤面具。每位工人都应有各自的过滤面具，并且过滤面具的过滤盒须在人员逃离污染区所需时间内（至少5 min），以保护人员免受光气侵害。该面具可以放在工人随身携带的盒子里，也可以在装置内的不同区域多点放置，放置的地点须保证工人在5 s内（最长10 s）拿到面具。存放面具的盒子要有清晰的标记（标记颜色最好为亮黄色或橙色）。应对过滤面具和过滤盒进行定期检查，如有需要应进行更换；
- c) 空气呼吸管线。针对可能涉及开放管道、法兰或容器的日常工作，应在装置各个地方安装与全脸面具配套使用的空气呼吸系统。出口应标识得足够清楚，以确保全脸面具与出口间的距离不会太长。至少每周对空气呼吸系统进行检查和专门清洁；
- d) 自给式呼吸器（SCBA）。针对紧急情况或开管作业等日常工作，如果没有安装空气呼吸系统，则应使用自给式呼吸器。应进行风险评估，以确定需要一个气瓶还是两个气瓶。

自给式呼吸器应配备2套以上，并应对其进行日常测试。气瓶在紧急使用后应进行更换。使用自给式呼吸器的工人应定期接受培训和接受医学体检评估，确定是否适合佩戴自给式呼吸器。

## 8.4 作业防护

### 8.4.1 空气监测

应对工作场所空气中的光气进行测量，生产车间空气中光气及光气化产品的容许浓度应符合GBZ 2的要求。

### 8.4.2 光气监测

光气装置的大气连续监测已在5.2.3.9中进行了说明。

### 8.4.3 光气牌

针对光气，专门的光气牌依靠颜色反应可以显示暴露剂量用于医疗处理时的重要参考。

光气牌需正面固定在尽可能靠近呼吸区域的位置，最好置于衬衫或夹克的领口处。

光气区域内的所有人员（包括承包商或参观者）都应配戴光气牌，按制造商的建议定时更换光气牌。

### 8.4.4 应急设置

在可能发生光气中毒的工作场所，企业应当设置报警装置，配置现场急救用品、冲洗设备、应急撤离通道和必要的泄险区。

现场急救用品、冲洗设备等应当设在可能发生光气中毒的工作场所或者临近地点，并在醒目位置设置清晰的标识。

在可能突然泄漏或者逸出大量光气的密闭或者半密闭工作场所，企业还应当安装事故通风装置以及与事故排风系统相连锁的泄漏报警装置。

## 8.5 警示公告

存在或者产生职业危害的工作场所，应按照 GBZ 158 的规定，在醒目位置设置图形、警示线、警示语句等警示标识和中文警示说明。警示说明应当载明产生职业病危害的种类、后果、预防和应急处置措施等内容。

## 8.6 日常监控(检查)

### 8.6.1 日常监测

应由专人负责工作场所职业病危害因素的日常监测，并确保监测系统处于正常工作状态。

### 8.6.2 职业病危害现状评价

企业应委托具有相应资质的职业卫生技术服务机构开展职业病危害因素检测，并对作业人员开展健康监护，每年至少进行一次职业病危害因素检测；职业病危害严重的企业，还应委托具有相应资质的职业卫生技术服务机构，每三年至少进行一次职业病危害现状评价。检测、评价结果应当存入本单位职业卫生档案，并向安全生产监督管理部门报告和劳动者公布。有下述情形之一的，应当及时委托具有相应资质的职业卫生技术服务机构进行职业病危害现状评价：

- a) 初次申请职业卫生安全许可证，或者职业卫生安全许可证有效期届满申请换证的；
- b) 发生职业病危害事故的；
- c) 国家安全生产监督管理总局规定的其他情形。

企业应当落实职业病危害现状评价报告中提出的建议和措施，并将职业病危害现状评价结果及整改情况存入本单位职业卫生档案。

### 8.6.3 问题整改

企业在日常的职业病危害监测或者定期检测、现状评价过程中，发现工作场所职业病危害因素不符合国家职业卫生标准和卫生要求时，应当立即采取相应治理措施，确保其符合职业卫生环境和条件的要求；仍然达不到国家职业卫生标准和卫生要求的，应停止存在职业病危害因素的作业；职业病危害因素经治理后，符合国家职业卫生标准和卫生要求的，方可重新作业。

## 8.7 职业病管理

### 8.7.1 健康监护

对从事接触光气作业的劳动者，企业应当按照《企业职业健康监护监督管理办法》、《职业健康监护技术规范》等有关规定组织上岗前、在岗期间、离岗时的职业健康检查，并将检查结果书面如实告知劳动者。

### 8.7.2 建立职业健康监护档案

企业应当按照《企业职业健康监护监督管理办法》的规定，为劳动者建立职业健康监护档案，并按照规定期限妥善保存。

职业健康监护档案应当包括劳动者的职业史、职业病危害接触史、职业健康检查结果、处理结果和职业病诊疗等有关个人健康资料。

劳动者离开企业时，有权索取本人职业健康监护档案复印件，企业应当如实、无偿提供，并在所提供的复印件上签章。

### 8.7.3 职业病诊断、鉴定所需资料

劳动者健康出现损害需要进行职业病诊断、鉴定的，企业应当如实提供职业病诊断、鉴定所需的劳动者职业史和职业病危害接触史、工作场所职业病危害因素检测结果等资料。

#### 8.7.4 职业卫生档案资料

企业应建立健全下列职业卫生档案资料：

- a) 职业病防治责任制文件；
- b) 职业卫生管理规章制度、操作程序；
- c) 工作场所职业病危害因素种类清单、岗位分布以及作业人员接触情况等资料；
- d) 职业病防护设施、应急救援设施基本信息以及其配置、使用、维护、检修与更换等记录；
- e) 工作场所职业病危害因素检测、评价报告与记录；
- f) 职业病防护用品配备、发放、维护与更换等记录；
- g) 主要负责人、职业卫生管理人员和职业病危害严重工作岗位的劳动者等相关人员职业卫生培训资料；
- h) 职业病危害事故报告与应急处置记录；
- i) 劳动者职业健康检查结果汇总资料，存在职业禁忌证、职业健康损害或者职业病的劳动者处理和安置情况记录；
- j) 建设项目职业卫生“三同时”有关技术资料，以及其备案、审核、审查或者验收等有关回执或者批复文件；
- k) 职业卫生安全许可证申领、职业病危害项目申报等有关回执或者批复文件；
- l) 其他有关职业卫生管理的资料或者文件。

#### 8.7.5 职业病病例上报与职业病危害事故管理

企业发现职业病病人或者疑似职业病病人时，应当按照国家规定及时向所在地安全生产监督管理部门和有关部门报告。

企业发生职业病危害事故，应当及时向所在地安全生产监督管理部门和有关部门报告，并采取有效措施，减少或者消除职业病危害因素，防止事故扩大。对遭受或者可能遭受急性职业病危害的劳动者，企业应当及时组织救治、进行健康检查和医学观察，并承担所需费用。

企业不得故意破坏事故现场、毁灭有关证据，不得迟报、漏报、谎报或者瞒报职业病危害事故。

### 9 急救和医疗

#### 9.1 救援与急救

##### 9.1.1 救援

接触光气的人员应尽快撤离被污染的环境——逃生方向上风向或侧上风向。一旦离开光气污染区域，必须休息。

从被污染环境中营救受害人时应使用自给式呼吸器。救援时有必要向受害人提供过滤面具。

##### 9.1.2 洗消

要完全移除病人的衣服，并对衣服使用袋子进行双层密封保存。可以在病人(衣物)附近使用光气探测器或试纸进行检测，以确定不再有光气放出。

应该将接触光气的病人置于紧急淋浴或适宜的温水淋浴下进行冲洗。对皮肤、衣物沾染处冲洗时间达 15 min。若涉及到眼睛，应对眼睛使用水或滴眼液进行彻底的冲洗。

当症状严重或疑似将出现肺水肿或已经出现肺水肿时，去污处理的时间可以短至 3~5 min，并尽快开始医疗并转送到更高规格的医疗机构。特别要注意的是，彻底的去污非常重要，该措施目的在于保护患者以及急救医疗人员。

### 9.1.3 急救

若条件允许，急救人员可以使用皮质类固醇气雾剂。

### 9.2 就医运送

应在护士或类似人员的陪同下使用救护车进行运送。若受害人出现呼吸困难或血氧饱和浓度下降（小于 92%-94%），应在运送过程中供给氧气。

应使病人平躺在担架上，或将胸部微微抬高（角度不超过 45°）。病人应避免用力行为（行走等），并使用担架抬上或抬下救护车。

皮质类固醇气雾剂可以继续使用。

### 9.3 医疗协作和沟通

光气工厂应与当地卫生行政部门、疾病控制机构保持沟通，并与就近具备光气中毒救治能力的医疗机构进行合作，签订医学救援合作协议，委托其提供医学救援服务。协议中要规定工厂、医疗机构的职责及协作方式，确定院前急救、暴露人员留观、院前洗消等关键环节的措施。工厂和医疗机构均要制定应急医学处理标准操作程序（SOP）或路径。医疗机构提供的服务具有实时性（24 h/7 d/365 d）及后续动员机制。光气工厂应与就近的医院进行沟通合作，并签订医疗合作协议，制定医疗方案，该医疗方案应考虑可用的医疗设施，例如救护车、医院设备以及到达医院所需的时间。

### 9.4 医疗决策树

为尽快做出医疗决策，开发出决策树，如图 6 所示。

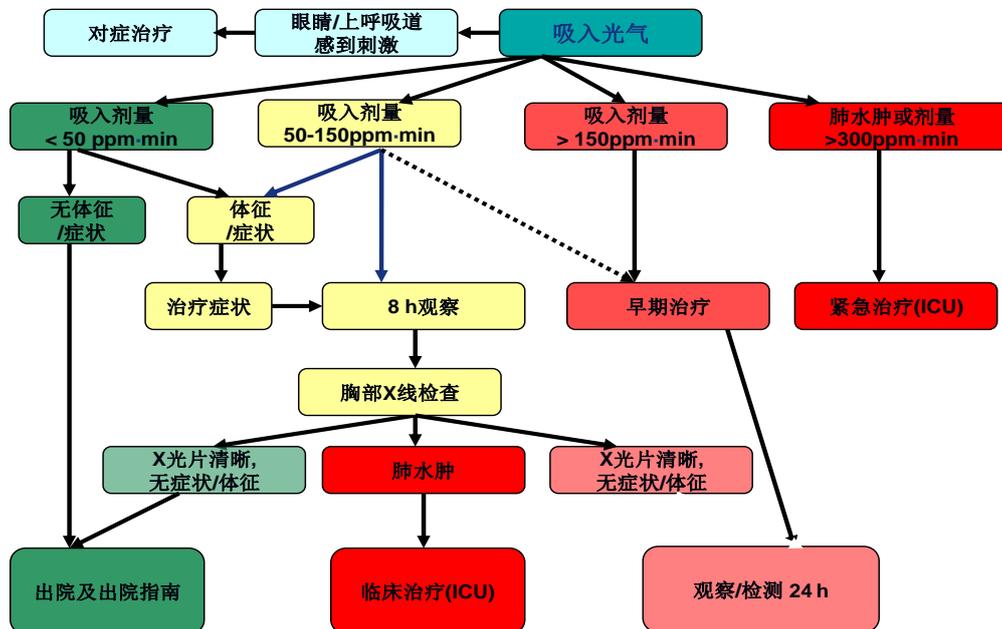


图 6 医疗决策树

### 9.5 医疗人员的培训

应每年对内部和外部的医疗人员进行培训。培训内容包括个体防护的内容。

培训应包括以下方面：

- 个体防护（例如在病人洗消前过滤面具的使用）；

- b) 使用的光气牌类型，以及特定光气牌的局限性；
- c) 结合比色卡对光气牌进行读数；
- d) 评估吸入剂量时需要提问的问题：
  - 光气牌的位置；
  - 光气牌的使用时间；
  - 呼吸保护装置的使用；
  - 光气牌的误用，例如用于泄漏测试。
- e) 启动等级：
  - 低于 50 ppm·min；
  - 介于 50 到 150 ppm·min 之间；
  - 高于 150 ppm·min；
  - 高于 300 ppm·min。
- f) 对应不同暴露等级所进行的监控；
- g) X 光检查的必要性及其评估；
- h) 对应不同暴露等级所给出的医疗建议方案及进一步选择；
- i) 既往治疗方法；
- j) 对应不同暴露等级的病人出院；
- k) 再次评估的时间及内容。

## 10 实验室安全规程

### 10.1 实验室描述

处理光气的实验室应制定一个简短的实验室书面说明，该说明应该包括：

- a) 位置以及联系人(实验室的领导)；
- b) 典型工作以及光气使用量的说明；
- c) 光气源；
- d) 特殊的设备与技术(如果有)。

若有重大改变应和监管人员及时进行沟通。

### 10.2 实验室设计、设备、程序

#### 10.2.1 实验室设计

##### 10.2.1.1 一般设计

光气使用过程中，应使光气的使用规模最小化，以减少潜在的光气暴露风险。

在指定的区域内处理光气。该区域应是专门设计用于使用光气的密闭区域，同时整个区域处于微负压状态，并且配有以下设施：

- a) 专门设计有玻璃移门的通风橱：通风橱应配备流量计(带有报警功能以便对通风橱的性能进行监测；最低要求：要有控制通风橱性能的可视装置)。
- b) 用于存放光气钢瓶的通风区域或通风柜。
- c) 可以破坏通风橱排出废气中光气的破坏系统。
- d) 放于通风橱内的光气进气系统：进料系统通常包括流量控制器，以及一个接头。通过该接头，进料系统和钢瓶断开连接前可以使用氮气将光气吹扫出整个系统。针对具有集中光气供给单元或光气处理量很大的情况，应使用自动截止阀。在通风系统、光气破坏系统失灵以及断电的情况下，自动截止阀将自动触发。除非上述故障已经排除，否则自动截止阀不能开启。
- e) 光气监测系统针对以下方面进行监控：

- 区域内的空气；
- 光气储存区域或存放柜，需对其泄漏进行检测；
- 通风橱的废气。

若测得值高于阈值（TLV），应实施以下安全措施：

- 光气报警系统（同时出现声音警报和光闪烁）；
- 光气破坏系统（若之前尚未工作）；
- 光气供气阀关闭；
- 应有可 24 h 监控、能对紧急情况进行响应的监控室（采用光气集中供应情况下的强制要求）。

f) 该区域出口处安装可以关闭通风橱中所有电力设备电源的按钮。

### 10.2.1.2 通风橱

在实验中涉及光气的实验应在通风罩、通风橱或具有足够空间的通风箱中进行。验室工作过程中将前视窗打开至工作所需高度时要保证最低空气体积流量。通风罩、通风橱或通风箱内最大理论允许光气释放量也应进行相应调整。

针对空气体积流量下降的情况，应配备光或声音警报。应使用有可水平打开的独立移门的通风罩、通风橱或通风箱，以使玻璃移门打开的面积最小，从而保证空间密闭性能良好。进行光气实验时，视窗应尽可能关闭，并使开放区域最小，以减小光气暴露的风险。

### 10.2.2 个人防护装备（PPE）

除了一般的个人防护装备（实验服、安全眼镜和安全鞋）外，还需要合适的呼吸防护设备。

在下列情况下应使用呼吸空气供给：

- a) 连接光气钢瓶或断开钢瓶连接时（5 kg钢瓶）；
- b) 应急处理时，包括紧急停车；
- c) 对重大泄漏进行维修处理时。

应使用超压面罩。

在取样和修理微小泄漏时（通风橱未完全关闭），也可以使用通过软管与背在身后的酸蒸气罐相连的过滤面罩（或带有风机的通风罩）。这种情况下，需要在空气入口附近放置一张光气试纸。

站在通风罩外观察、监控通风罩内实验的工作人员一般不需要配备呼吸保护，但应保证呼吸保护装置可以轻易获取。

光气使用区域（段、房间等）内的人员应佩戴光气指示牌，并随身携带全面罩或便携式逃生器具。

### 10.2.3 光气设备

应对选择的实验设备针对其适用性进行检查（制造材料的壁厚、裂纹、材质等），并夹紧所有接头。为了避免意外的过压，在光气钢瓶与实验设备之间需安装液封循环，并且液封循环的出口与光气破坏系统相连接。安全密封循环安装完成后，需要在轻微过压条件下对其进行测试（过压在10 Kpa以内）。

高压下工作的设备需要针对使用目的进行特别设计。可以采用硫酸或白色矿物油作为密封介质（需确保对它们采用适当的方法进行处理，因为光气易溶于上述两种物质）。不推荐使用水或水银作为密封介质。

所有放出的气体都必须进行处理，以避免光气排放到大气中。因此，要求至少使用一个带有活性炭/水（或碱洗）的分解塔。分解塔应具有在意外条件下能完全消除废气中光气的的能力。

在反应容器的下方宜放置一个装有无机吸收介质的足够大的容器，一旦反应容器破碎时能够容纳反应容器中溢出的物质。应保证安全盘和通风橱内部的通风。

推荐使用铁氟龙（PFA）、聚四氟乙烯（PTFE）或Tygon®管进行管线连接。使用前应进行气密测试，并且确保防滑。检查确认所有的光气设备以保证与光气破坏系统相连接。

在实验室的进口处需要对涉及光气的工作进行标识（标识的尺寸要足够大）。

## 10.2.4 光气供应

### 10.2.4.1 光气钢瓶（最多 5 kg）

实验室使用的每个光气钢瓶都应通过五年一次的检查。测试的内容应包括压力测试以及机械缺陷检查。测试应由有资质的供应商或权威机构进行。在规定时间内没有进行检测的钢瓶不能装入光气。

光气钢瓶宜存放在实验室外面，且要避免过热（小于50℃）。若条件不允许（或是用气阀瓶，或为0.5 kg的钢瓶），钢瓶需存放在通风橱或带有连续通风功能的通风柜中，通风橱或通风柜中还需配备光气监测装置，并且温度需保持在50℃以下。

只有当钢瓶出气阀已经关闭，阀盖（带垫圈）和其瓶盖已经拧紧的条件下方可对钢瓶进行安全移动。

光气钢瓶的连接和操作应在通风罩或吸排橱中进行的。当连接或拆卸5 kg的钢瓶时，应使用供应呼吸空气的呼吸设备。针对气阀瓶或0.5 kg钢瓶，也可以使用与背在身后的酸蒸气罐通过软管相连的过滤面罩（或带有风机的通风罩）。

应在钢瓶上连接二级截止阀后再打开钢瓶阀（手动阀），并使用合适的针阀或适用于光气的压力调节器（不能是黄铜材质的）。应对针阀杆采用保险装置，以避免其螺纹松开。在每次钢瓶连接过程中，使用合适尺寸的扳手连接或卸下阀门以及阀门保险装置。每次钢瓶连接都应使用适用于光气的新垫圈。由于其存在被压进阀口的可能，连接过程中不推荐使用铅质垫圈。

钢瓶阀（手动轮）只能用手进行开启和关闭，若钢瓶阀在无外力（工具或杠杆）帮助条件下不能打开，则需要将钢瓶返还供应商，并进行适当的记录。

钢瓶主阀门最好在完成泄漏测试后再完全打开，测试时将针阀关闭，并将主阀门略微打开。泄漏测试可采用以下工具：

- a) 类似Draeger 管的气体测试管；
- b) 光气试纸；
- c) 电子光气指示仪器。

当从钢瓶中取出光气后，应避免外来杂质侵入阀门或钢瓶中。

拆下的钢瓶在返还供应商前最好进行泄漏测试。

最好将压力调节阀置于通风橱内脱污。

### 10.2.4.2 液态光气

当以下条件都得到满足时才可使用液态光气：

- a) 在光气突然释放的情况下，释放出的光气量不能超过光气破坏系统的处理能力。若可能发生突然泄漏，例如玻璃破碎后，光气量应小于150 g。
- b) 仅从钢瓶中取出实验所需的光气量。
- c) 不能从钢瓶中直接取出液态光气（类似铁锈等固体颗粒可能进入阀门内，使其不能关紧）。
- d) 烧瓶、容器中的压缩光气在全部用完前应一直与实验设备相连。在压缩光气未完全用完时，禁止对设备进行任何操作（例如断开管路和设备连接，以及对烧瓶和液态光气进行称量）。
- e) 应预防反应混合物倒灌进入液态光气中。

### 10.2.4.3 光气溶液

制备光气溶液时，通常将光气溶解于溶剂中（例如一氯代苯或甲苯）。由于光气溶液的溢出可能导致放出大量光气，应只制备所需量的光气溶液，以避免保存。若需要延长存放光气溶液的时间，则应满足以下条件：

- a) 应有包括光气监控计划以及紧急情况下处理方法的书面安全说明。
- b) 存放溶液的通风橱内应配备对空间进行连续监测的光气检测器，检测器的检测极限应能达到

0.1 ppm(体积浓度), 并能触发到始终有人值守(全周7 d, 每天24 h)的控制室的报警器。

- c) 应将光气存放在密封容器中, 并且将存放光气的容器放在另一个尺寸足够大的容器中。该容器除了能完全容纳存放光气的容器外, 还需提供额外空间以放置足够的固体吸收剂或液态去污溶液, 以便在光气泄漏出容器时对其进行吸收和中和。此外, 应避免密封的光气容器与吸收剂或去污溶液的直接接触。
- d) 制备结束时的温度应等于或高于储存温度, 以避免由于温度变化而导致的压力增加。

### 10.2.5 实验室中光气的检测与测量

在使用光气的实验室中工作和参观的人员需佩戴光气指示牌, 使用光气的实验室还应配备空气监测系统, 并带有报警功能。系统的范例包括以下几种:

- a) 能够对不高于阈值(TLV)的光气浓度进行测量的静态光气探测器(例如: 纸带或电化学的探测器)。所有采用光气集中供应的实验室都应使用静态探测器对周围空气、尾气口以及通风处进行监测(对电化电池存在正交叉干扰的有HCl、HCN、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S等。HCl对纸带仪器具有负交叉干扰)。
- b) 在浓度不高于阈值(TLV)时可使用移动式光气探测器(例如: Compur: Monitox plus; Draeger: PAC III; HCl、HCN、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S等对电化电池存在正交叉干扰)。所有处理光气的实验室都应强制使用移动式光气探测器(对实验装置周围进行检测)。
- c) 可在仪器附近和通风橱内的关键点放置光气牌, 以对光气的泄漏进行指示。指示牌的颜色经颜色对比后可半定量的给出光气的泄漏量。宜在所有操作光气的实验室使用光气试纸进行泄漏测试。
- d) 所有处理光气的实验室都可以选择使用可用来检测低于ppm级光气的Draeger管。但应按照制造商的操作程序对探测器进行定期(通常是每6个月)的标定。

### 10.2.6 实验监控

在整个实验过程(从连接光气钢瓶直到已经销毁实验后的过量光气)中, 应对实验设备及其周围区域进行光气监测。

应安排受过培训的人员监管实验, 还应针对可能出现的紧急情况安排另一个配备合适个人防护装备的工作人员。每个光气化设备至少安排一个工作人员进行监控。在研发实验室中进行筛选实验, 使用的光气量很小时可以例外。

每个通风橱内仅能进行一个光气反应实验。光气化实验后可在与光气化实验相同的通风橱内用惰性气体对实验设备进行吹扫。在该通风橱内不能同时进行其他实验。但是, 当进行小规模筛选实验时, 可在一个通风橱中进行一个以上实验。

若反应在工作时间内不能结束, 应使用安全的方法中断实验。中断实验应在危险与可操作性分析(HAZOP)中进行一般的讨论, 并应包括在标准操作程序中。若不能实现, 则需要进行特殊的HAZOP分析。

### 10.2.7 样品

含光气样品的取样量越小越好。应对样品进行清晰的标记, 应通过人员转交样品。应确保采用正确的方法取出样品(步骤应在标准操作程序中进行说明)。样品的处理应在通风橱内完成。

若样品量远小于1 g, 则没有必要使用光气探测器和光气牌。

若样品量大于1 g, 则至少应该使用光气牌和移动式光气探测器。需要进行危险与可操作性分析(HAZOP)以对安全措施进行调整。在实验室内运输含有光气的样品时要选用最短的路径。若不能使用上述路线, 则需要书面规定使用其他路线(例如楼梯和电梯)的特殊步骤。对在通风橱外进行的处理、运输, 应将含有光气的样品放置在密封的安全容器内。容器需要在通风橱内进行关闭和打开。

在实验室中, 含有光气的样品需放置在为光气样品预留的通风橱内。样品应保持冰冷状态, 并尽快处理完。

当对光气以外的组分进行分析时，分析前最好使用惰性气体将光气从样品中吹扫干净。排出的气体在排放至通风橱前应经过光气破坏系统。有时也需要在光气分解前对样品进行分析，以便得到更精确的分析结果。仅允许对小样品进行这样的分析（远小于1 g，在橡胶隔垫密封的小瓶内进行处理）。这类分析通常为类似GC和LC的色谱，剩余的样品应使用光气分解溶液进行处理。

### 10.2.8 分解

涉及光气分解工作的人员应穿戴合适的保护用品。

#### 10.2.8.1 光气气体的分解

对实验室中光气化操作设备出气口的光气，其分解可通过在活性炭上的水解来完成。通过该方法，可以消除对环境有危害的任何量的光气。

同样也可使用烧碱洗气系统达到销毁光气的目的，但应注意由于生成碳酸物而发生堵塞碱洗设备的问题。

在紧急情况下，可以考虑向通风橱中喷射可控的氨气。但氨气本身也是有毒气体，因此氨气仅限于在紧急情况下使用。

#### 10.2.8.2 使用固体(吸收)分解光气溶液

对溢出的光气溶液可以使用不可燃的矿物吸收剂(例如Oil-Dri或蛭石)进行吸收，并使用氢氧化钙进行覆盖。应使用至少两倍于溢出光气溶液量的吸收剂进行吸收，然后将至少6倍的氢氧化钙覆盖于吸收剂上。吸收时应先使用吸收剂然后再用氢氧化钙进行覆盖。在对分解介质进行适当的处理前需确保光气已经完全分解。

除了使用矿物吸收剂、氢氧化钙外，还可使用结晶尿素和矿物吸收剂进行上述处置。

#### 10.2.8.3 采用溶液对光气溶液进行分解

当光气溶液可与水互溶时，可使用氨水对光气进行分解。对不溶于水的光气溶液，需要使用至少3倍于光气量的特定混合物进行分解，该混合物包括以下组分：

- a) 1份浓度为25%的氨水溶液；
- b) 1份水；
- c) 1份异丙醇（低闪点的分解溶液）。

这些分解溶液应过量使用。

当对大量的光气溶液进行分解时，宜对光气溶液进行冷却，并将其加入到冷的分解溶液中。对类似样品中的少量光气，可使用适当的中和剂直接进行中和(如NaOH和NH<sub>4</sub>OH)。

### 10.2.9 光气的泄漏控制及紧急响应

任何处理光气的实验室都应有应急响应预案(ERP)。若通风橱内的任何设备出现光气泄漏时，应进行以下行动：

- a) 佩戴合适的个人防护设备(PPE)，包括能提供呼吸空气的防护设备；
- b) 最大程度关闭通风橱；
- c) 警告他人；
- d) 对下列情况进行评估并采取适当的行动：
  - 当遇到类似因塞子、磨口连接或搅拌杆等松弛而导致放出气态光气的问题时，工作人员可以直接在通风橱内部将问题排除，进行上述操作时应配备空气呼吸器。尽量减小通风橱水平视窗的开启度，以避免或减少光气的释放。
  - 若在落地式通风橱中进行实验时，应将人员撤出通风橱。故障排除工作至少需要由两个配备空气呼吸器或其他个人保护设备的工作人员完成。若故障无法排除，最好停止反应，并

使用适当的方法将残余的光气分解。

- 在设备损坏或有大量光气放出时，应立即触发报警装置，人员应迅速撤出危险区域，同时按照相应的应急响应预案采取相关行动。
- 当放出的光气已经污染了实验室区域以外的地方(例如当通风橱或实验室废气中的光气已经被吹到周围环境中)，应立即触发报警装置，同时按照相应的应急响应预案采取相关行动。

应避免含有光气的物质在未处理前从通风橱中排出。排放前光气应销毁。在各危害限制措施中，可防止潜在光气的有：

- 氨气加入系统；
- 切换至维护或点通风分解系统的装置；
- 切换至焚化单元的装置。

这些分解系统可手动也可自动开启。

### 10.3 实验操作

#### 10.3.1 操作程序

##### 10.3.1.1 一般要求

光气操作指在职业暴露级别下对光气的任何测试、转移和实验。所有光气操作都应在通风橱内完成。操作过程中要遵守双人原则，即一个人进行操作，另一个有资格的人员监护、候补。

光气操作实验室应具有书面的标准操作程序(SOP)以及简短的实验室说明。在进行复杂或非标准操作时，应制定特殊的操作程序及安全检查表。

应定期审核操作程序及危险与可操作性分析(HAZOP)，至少每5年审核一次；出现明显变化时，须在新情况出现时，在工作重新开始前进行审核。

在开始使用光气前，应对设施进行检查，以确保现行的规程和安全规定是适当的。

##### 10.3.1.2 标准操作程序(SOP)

应制定和实施光气使用的书面标准操作程序(SOP)，标准操作程序中应包括以下几个部分：

- a) 职责。对所有直接或间接涉及光气操作的人员，明确他们的职责。
- b) 安全预防措施。对万一发生事故时所应采取的措施、步骤。
- c) 个体防护装备(PPE)。对直接或间接涉及光气操作的人员所需的个体防护装备。
- d) 组织。对工作区域内的标识，技术员的数目以及相应的培训、资质要求和职责。
- e) 存放和运输。对化合物的存放及运输的规定。
- f) 实验装置构建。包括辅助设备在内的所有涉及光气的实验设备，并列防止光气蒸气进入大气的方法。
- g) 实验的准备与进行。包括取样技术在内的所有试验程序。
- h) 分析。针对所有的样品以及它们的分析步骤(取样、运输、分析、处理含光气废物以及样品容器的净化)。
- i) 操作的中断。针对设备损坏、断电或其他原因造成的操作中断，说明不同岗位工作人员应采取的措施。
- j) 紧急情况响应计划。在紧急状况下，应采取的措施和执行人员，包括警报、通知、疏散计划和路线等的说明。

##### 10.3.2 特殊步骤及安全检查清单

对于复杂或非标准的光气使用，应制定特殊操作程序并按安全检查清单逐一实施。特殊程序可作为标准操作程序(SOP)的延伸。

检查清单应经测试或实验人员以及实验室领导签字确认。分析测试过程和小试验没有必要使用检查清单。

## 10.4 实验人员培训

### 10.4.1 从事光气工作的人员

从事光气工作的人员应在实验室中接受最少2.5年(一般为3.5年)的培训,此外还应接受1年的在职培训。工作人员应可靠且经验丰富。

在实验室中使用化合物前,还需进行专门的培训。处理光气的人员应具备必要的的能力。培训和考核都要记录。并定期对培训与考核进行检查。

典型的培训、考核内容包括:

- a) 光气可能带来的危害和在紧急情况下的应对方法(年度培训)。
- b) 紧急情况演习,以测试其对警报的响应(工作开始前,至少每3年重复一次)。
- c) 对使用光气的过程进行观察;协助实验进行;在经验丰富工作人员的指导下进行在职培训(在独自操作开始前)。
- d) 工作开始前对程序和说明进行讨论。

指导培训、考核的人员应具有在实验工作以及处理毒性物质方面长期从业经验。应以高学历(硕士或博士)的实验室领导作为指导者。

### 10.4.2 在光气实验室附近工作的人员

对在有光气存在的实验室附近或办公室工作的人员也需进行培训,以使他们学会应对光气紧急情况。紧急情况响应计划应该是一个书面文件,并需定期(每年)进行审核。

## 11 应急救援管理

### 11.1 总则

作为工厂需求评估的一部分,以下事项可能在工厂发生紧急情况时提供协助:

- a) 一个或多个安全集合点;
- b) 指引工厂内所有人员到达安全集合点的紧急情况协调员;
- c) 风向标应在控制室中显示;在工厂高点应另外安装风向标
- d) 在工厂紧急情况下向所有人员(操作、维修、实验室人员、服务人员、承包商、访客)应急告知的系统。

在光气警报发生时撤销一切工作许可,立即停止所有工作,并向工厂内的人员提供紧急指示。该紧急指示包括所有员工、承包商和访客安全集合点集中,并清点人数。

### 11.2 应急管理目标

应急计划是总体安全管理体系的重要组成部分。在所有可能发生对人员和环境产生严重危害的重大事故时,妥善规划有助于减轻事故造成的后果。

应急管理目标在于:

- a) 采取最初的纠正措施对紧急事故、事件进行处理;
- b) 减少事故、事件对人员、公司财产以及环境所造成的负面影响;
- c) 及时向公司内部职能部门和相关政府部门进行汇报;
- d) 遵守国家特定的法律与规定。

### 11.3 应急救援预案编制

企业应根据危险源状况、危险性分析和可能发生的事故特点，按照GB/T 29639的要求编制危险化学品事故应急预案。

#### 11.4 区域（园区）应急计划

需向当地权威部门提供可能发生的重大事故的性质、程度以及可能造成的影响，以便制定区域（园区）应急计划。区域（园区）的应急计划应包括以下内容：

- a) 事故发生时的早期预警、警报以及调用程序；
- b) 分配所需的资源，以实施区域（园区）的应急计划；
- c) 向工厂中的紧急情况提供协助程序以及降低后果严重程度的措施；
- d) 启动区域（园区）紧急情况的程序以及降低后果严重程度的行动。

#### 11.5 工厂内应急计划

针对生产工厂中可能出现的紧急情况，工厂内的应急计划应解决如何应对出现的紧急情况的问题。这包括紧急措施、个人分工及职责、权力界限、培训（演练）以及交流。

工厂应急计划应覆盖不同种类的事故、事件：

- a) 自然灾害，包括台风、地震、潮汐（洪水）；
- b) 生产事故（火灾、受伤、化学品溢出、气体泄漏、环境污染）；
- c) 公共卫生事件（传染病暴发、食物中毒事件以及职业病）；
- d) 社会安全灾难（炸弹危险、示威）。

针对光气泄漏和人员接触光气的重大事故，制定的应急计划是通常涵盖装置内的人员、工厂内的相邻装置以及周围社区。

#### 11.6 工厂内的应急设施

为了确保对紧急情况作出快速响应，工厂应配备如下应急设施以及必要的人员：

- e) 消防队员；
- f) 急救站；
- g) 保安；
- h) 应急中心（或工厂危机管理中心）；
- i) 交互通信系统；
- j) 消防用水或其他受污染水的存放设施；
- k) 环境监测系统（风向标、废水检测器、气体检测器）。

在发生对工厂范围以外产生影响的严重事故时，工厂内的应急力量需要得到社区或政府应急力量的支持。

对仅含有单个生产装置或实验室级生产设施的小生产工厂，可以不提供类似工厂服务的必要响应设施。但此时在他们的应急系统中应确保工业园中临近社区内的设施可以提供所需的应急基础资源。

#### 11.7 装置应急计划

在实际发生或可能发生重大事故的情况下，尤其在光气泄漏或其他危险化学品溢出和泄漏时，使用装置应急计划对人员与环境进行保护是非常必要的。在装置内响应人员完成接管前，装置应急计划应针对不同的紧急情况对装置内员工的最初职责和行动进行说明。

装置应急计划同样应包括针对装置内特殊应急设施位置的详细信息和方位图。

#### 11.8 装置应急设施

处理光气的装置应配备足够的应急设施，这些设施包括：

- a) 装置内以及装置地界上的报警信号或闪烁的灯光和警示标志；

- b) 公告及应急通信系统;
- c) 有毒和易爆气体探测器(尤其在密闭空间内);
- d) 足够的消防设备;
- e) 安全淋浴和洗眼器;
- f) 安全室或“安全港”(可置于装置外);
- g) 紧急自供式呼吸系统(置于装置的每一层);
- h) 装有吸收材料的桶(置于装置的每一层)。另外也建议安装用于降低后果严重程度的氨气或氨水管道系统(泄漏检测、光气分解)。

对应急设备的所有位置都应进行清晰的标记, 需要进行标记部分还包括向装置外的逃生路线以及装置外的集合点。

## 11.9 应急情况培训和演练

### 11.9.1 基本培训

所有的员工和主要承包商人员都应接受基本的培训, 培训内容包括: 工厂内的紧急通信和汇报过程、紧急撤离步骤以及紧急警笛音。此外, 还推荐进行简单的消防培训、急救培训(包括人工呼吸培训)。

### 11.9.2 资格培训

针对涉及应急工作的特殊员工(消防队员、应急中心操作人员、危机管理团队、急救站人员、保安等), 应提供工作特有的资格认证培训。

### 11.9.3 应急情况演练

定时进行应急情况演练是检查和维持应急计划以及员工应急技能有效性的有效途径。演练涉及的人员包括: 装置操作人员、救火队员、医疗相应人员以及装置附近的人员。

演练后还应根据演练情况及时对应急预案进行修订。

**附录 A**  
**(资料性附录)**  
**双光气与三光气的使用与存放**

## A.1 前言

双光气与三光气的危险性至少与光气相同，且不可作为光气的“安全”光气替代品。与光气相比，双光气与三光气的毒性影响可能会滞后（数小时）。

所有涉及这些化合物的事件/事故都应该确定为光气事故。因此对这些化合物同样要采用严格的规定。以下总结几种强制性要求：

- a) 必须有使用和存放的标准操作程序（SOP）；必须强调紧急响应措施。
- b) 必须任命一个安全官员或安全代表对研发基地进行管理。安全官员或安全代表负责基地特殊标准操作程序（SOP）的制定和实施。
- c) 仅允许经验丰富的人员处理双光气与三光气。
- d) 每次实验的最大用量为5 g双光气或三光气。
- e) 仅允许在通风橱中进行处理。
- f) 必须佩戴光气牌。
- g) 在实验区域附近强制使用电化学光气探测器。
- h) 配置安全盘/接收器(装有尿素、蛭石或任何其他合适的吸收材料)。
- i) 尾气中不允许存在光气、双光气或三光气(尾气需要在分解塔中进行洗涤)。
- j) 配置呼吸保护设备。
- k) 配制好光气分解溶液。
- l) 在基地中必须将化学物集中存放，配送并且建立相关安全设备（强制对材料进行跟踪）。双光气、三光气的存放量越低越好，不要超过100 g(研究实验室)。必须强调的是未经授权的个人不允许进入存放区域。
- m) 出现人员接触光气的事件时，例如任何光气牌变色，必须立即将该员工送至基地内部医院。医院中的医护人员(医生或护士)在对病人的接触历史以及光气牌的变色进行评估以后决定后续的处理方法(出院，住院观察或治疗)。

标准操作程序(SOP)的内容模板必须符合当地法规的要求，必须遵守所有强制性的规定。若基地未能遵守所述的强制性规则，则其使用双光气或三光气的授权可能会被撤销。

## A.2 标准操作程序（SOP）内容

### A.2.1 职责

研究/开发实验室/基地的管理层已任命…(名字)…为安全官员/安全代表

安全官员/安全代表有责任确保在基地内安全使用双光气和三光气。安全官员/安全代表还有责任确保基地备有可用的探测器和光气牌（探测器必须定时进行重新标定/测试，通常周期为6个月）。

实验室的领导者对正确处理化合物(与SOP相一致)及处理能力负责。实验室的领导者同样负责对实验员进行指导，并确保操作人员具备所需要的技能。

### A.2.2 安全防范

#### A.2.2.1 个人防护装备

除了标准的个人防护装备外，进行实验的人员还必须佩戴光气牌。光气牌必须按供应商的说明进行

使用。操作人员必须对光气牌进行标记(姓名,日期),并按照供应商的说明进行更换。光气牌必须集中进行保存与发放。(……地点……)。

针对实验室中所有的长期雇员,必须确保在他们的手边有可用的带有必须给实验室长期雇员配备带有ABEK型过滤的全面罩护呼吸器。访客不需要面罩(逃生路线必须短)。

#### A. 2. 2. 2 组织

双光气或三光气及所需设备(指示牌,探测器,安全托盘,标签,光气分解溶液)是集中存放且按需供应的。

涉及双光气或三光气的实验必须由合格的,且经验丰富的人员进行操作,操作时至少应使用过滤式面罩。禁止学员、实习生以及受雇佣学生处理双光气或三光气

根据双光气或三光气操作员工的安全使用情况,决定对其进行实验前培训或1年一次培训。两次培训的间隔必须遵守当地的法规,但不能超过12个月。培训记录拷贝件发给安全官员/安全代表。对直接处理双光气或三光气的员工详细说明化合物的安全使用情况,而对在实验室内工作的其他人员仅需进行一般的说明,包括组织规范以及应急方法<sup>1,2</sup>。对短期访问人员无需进行培训。

实验过程中必须对通风橱进行标记(标识的尺寸:A4纸;危险标志和文字:警告:双光气、三光气”,“保持通风橱关闭”)。通风橱的标记由实验室领导负责。实验结束后必须移除警告标记。

通风橱在进行双光气或三光气相关的实验时,不允许同时对其进行其它维护和维修工作。

在进行使用双光气或三光气的实验时,实验室内至少有两个合格的技术员同时在场。留有胡子的人员不能从事与双光气、三光气相关的工作。

#### A. 2. 2. 3 储存与运输

双光气与三光气的储存量越低越好,不要超过100 g(研究实验室)<sup>3</sup>。必须对化合物进行集中存放(…地点…);并要求进行无缝跟踪<sup>4</sup>。必须将双光气和三光气存放在通风良好且安全的区域。不允许将它们存放在实验室冰箱中。

双光气和三光气只能放置在盖紧盖子的安全容器内运输。打开和盖上容器必须在通风橱内进行。不允许在敞口的条件下处理及运输。

#### A. 2. 2. 4 实验装置

每次实验最多只可以使用5 g 双光气或三光气。严格禁止制备液态光气和单独产生光气。

实验装置必须在通风橱内进行搭建<sup>5</sup>。在整个实验过程中,必须在实验装置旁安装探测器(例如:Draeger Pac III)。在实验装置的下方必须放置存有合适吸收剂以及尿素混合物的安全托盘(接收器)。

实验装置必须为一封闭的通风系统,内置光气分解塔(活性炭/水或玻璃包装/NaOH水溶液)。所有尾气必须通过光气分解塔系统。必须对废气中的光气进行监测(可以在洗涤塔后放置光气指示牌)。不可将光气释放到通风橱中。必须对所有的管线进行安全保护(例如喉箍)。

在通风橱附近必须备有足够量的光气分解溶液; [最低量: 1 L; 成分: 异丙醇/氨水(25%)/水, 1:

<sup>1</sup> 要求: 逃生路线必须短。

<sup>2</sup> 特殊的以及基本的说明可以在年度一般说明中进行。

<sup>3</sup> 若储存量高于 100g, 则需要提供由安全官员/安全代表签发的说明文件。

<sup>4</sup> 电子形式或使用日志本; 必须分别进行记录取出量。

<sup>5</sup> 通风橱的计数指标必须满足当地法规中的规定。

1: 1]。

#### A. 2. 2. 5 实验的准备与进行

所有涉及双光气或三光气的操作必须在通风橱内进行(包括化学药品的称量)。敞口处理化合物必须佩戴呼吸器(过滤器类型: ABEK)

应该使用光气试纸对整个仪器的密闭性经常进行检查。在实验区域旁必须安装光气探测器。

进行实验前, 必须用不含光气的氮气或氩气对整个装置进行吹扫。另外, 可使用光气分解溶液或其它光气溶剂(例如 甲醇, 乙胺)对反应混合物进行充分处理。空的原料瓶在处理前必须使用光气分解溶液进行处理。

#### A. 2. 2. 6 分析

含有光气, 双光气或三光气的样品必须使用单独的带隔垫的瓶子进行分析。这些瓶子必须用封口器封紧。除样品号外, 样品还必须标记: “警告, 可能还有光气。”

若需要运输样品, 则必须将样品放在盖紧盖子的安全容器内。所有的样品都必须在通风橱内进行保存。

必须由有资格的人员对样品进行分析。建议最多取出分析所需的样品量, 并快速进行分析处理。若条件允许, 不要打开样品瓶盖, 使用导管或注射器插入隔垫取出样品。样品分析完成后, 必须马上在装有光气分解溶液的聚乙烯瓶子中对其进行完全处理。聚乙烯瓶随后可作为一般化学废品进行处理。

#### A. 2. 2. 7 实验的中断

必须对实验装置的泄漏进行及时的检查, 维修人员及实验装置周围的人员必须有呼吸保护设施。出现重大泄漏时, 必须使用自给式呼吸器。

若出现供电中断, 在实验中生产的光气需冷却保留或通过洗涤塔排出。

若通风系统出现故障, 需使用安全的方法中断正在进行的实验(例如使用干冰进行冷却, 停止添加试剂)。已经存在的所有光气都必须保留在反应器内(例如通过对实验装置进行冷却)。若在排出的废气中探测到光气, 须使用安全的方法中断实验, 或立即对实验装置进行冷却(例如使用甲醇或光气分解溶液)。未得到实验室领导允许前, 不可以重新开始实验。

#### A. 2. 2. 8 应急方法

若光气, 双光气或三光气泄漏到实验室中(例如溢出或泄漏, 玻璃容器破碎等), 实验室楼层内的人员必须马上撤离。必须遵守标准撤离规定。必须由配戴合适呼吸保护设备(例如, 自给式呼吸器)的人员(理想情况为两个人)进行实地检查以确保完全撤离。

在涉及双光气或三光气的实验出现不明情况时, 建议撤离人员以防万一。若需要进行救援, 必须使用自给式呼吸器(若不可以使用自给式呼吸器, 进行救援时必须强制使用带有新鲜ABEK过滤器的全面罩呼吸器)。

若某个人员的光气牌出现变色, 或有理由假定其吸入光气(双光气或三光气)时, 则必须立即对该人员进行医学评估(评估最好在基地医疗部门进行)。光气牌必须由在场的医生或护士妥善保管。

当在实验室内吸入光气/实验室中有光气泄漏时, 必须启动通常的报告链。此外, 必须立即告知安全官员/安全代表(……姓名, 电话号码……)。安全官员/安全代表须向相关部门报告。

进行所有的脱污工作时都必须强制使用自给式呼吸器。净化脱污工作至少需要由两个人完成(一个人操作, 一个人候补)。若有可能, 尽量收集对溢出物, 并将其放到光气分解溶液中。溢出的反应溶液或双光气必须使用光气分解溶液进行直接破坏。在大约15 min后, 溢出物必须使用吸收剂(例如: 蛭石)

进行覆盖，并随后收集。只有当安全官员/安全代表或消防官员给出安全申明后，人员方可再次进入受到影响的区域。

若需要请求消防队员的协助，那么必须告知消防队员有光气、双光气或三光气存在，并且要强调双光气和三光气的潜在毒性。

附录 B  
(资料性附录)  
毒理学和管理标准参考网站

- B.1 AEGL: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/results7.htm>; [www.nap.edu](http://www.nap.edu).
- B.2 AETL: <http://www.acutex.info/>.
- B.3 CalEPA: [http://www.oehha.ca.gov/air/acute\\_rels/allAcRELS.html](http://www.oehha.ca.gov/air/acute_rels/allAcRELS.html).
- B.4 EPA-IRIS: <http://www.epa.gov/iris/subst/0487.htm>.
- B.5 NIOSH-IDLH: <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>.

## 参考文献

- [1] 中国光气安全规范与管理建议书(拜耳材料科技中国有限公司)
  - [2] 光气安全实践(国际异氰酸酯协会 2011)
-