



# 团 体 标 准

T/CCSAS 052—2025

## 三氯氢硅还原法多晶硅生产安全技术规范

Safety technical specifications for polysilicon production by trichlorosilane  
reduction method

2025-03-03 发布

2025-03-03 实施

中国化学品安全协会 发布  
中国标准出版社 出版

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 设计与总图布局 .....	2
4.1 基本要求 .....	2
4.2 总平面布置 .....	3
4.3 工艺及生产装置 .....	3
4.4 防火、防爆设计与安全疏散 .....	4
4.5 电气设施 .....	5
4.6 过程自动控制 .....	5
4.7 消防设施 .....	6
4.8 通风与排烟 .....	6
4.9 危险化学品储存 .....	6
5 生产过程安全 .....	7
5.1 一般要求 .....	7
5.2 生产装置开车基本要求 .....	7
5.3 生产装置停车基本要求 .....	8
5.4 三氯氢硅合成 .....	8
5.5 氯硅烷分离 .....	9
5.6 三氯氢硅还原 .....	10
5.7 还原尾气干法回收 .....	11
5.8 四氯化硅冷氢化 .....	12
5.9 二氯二氢硅反歧化 .....	12
5.10 废气淋洗 .....	13
附录 A (资料性) 多晶硅生产火灾危险性分类 .....	15
附录 B (资料性) 多晶硅生产场所空气中主要有毒物质及粉尘容许浓度 .....	16
附录 C (资料性) 多晶硅生产过程中的危险、有害因素 .....	18
参考文献 .....	20

## 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。

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专利的责任。

本文件由中国化学品安全协会提出并归口。

本文件起草单位：中国氟硅有机材料工业协会、中国化学品安全协会、四川永祥股份有限公司、江苏中能硅业科技发展有限公司、新疆大全新能源股份有限公司、合盛硅业股份有限公司、同轨科技成都有限公司、华陆工程科技有限责任公司、洛阳中硅高科技有限公司、四川晨光工程设计院有限公司。

本文件主要起草人：李斌、兰云、杨武明、罗周、王世棋、郑东昊、程长进、韩洪流、王路、李超、朱文刚、刘继三、贾敏、程渝峰、严大洲、陈宏愿。

# 三氯氢硅还原法多晶硅生产安全技术规范

## 1 范围

本文件界定了采用三氯氢硅(TCS)还原法生产多晶硅的术语和定义,规定了企业从设计到生产过程的安全技术基本要求,包括设计与总图布局中的安全要求、生产过程的安全要求。

本文件适用于采用三氯氢硅还原法工艺技术生产多晶硅的企业。采用其他工艺技术生产多晶硅的企业可参照执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 2894 安全标志及其使用导则
- GB 5083 生产设备安全卫生设计总则
- GB 7231 工业管道的基本识别色、识别符号和安全标识
- GB 12158 防止静电事故通用导则
- GB 15577 粉尘防爆安全规程
- GB 15603 危险化学品仓库储存通则
- GB 16297 大气污染物综合排放标准
- GB/T 20801(所有部分) 压力管道规范 工业管道
- GB/T 30000.31 化学品分类和标签规范 第31部分:化学品作业场所警示性标志
- GB/T 38144.1 眼面部防护 应急喷淋和洗眼设备 第1部分:技术要求
- GB/T 38144.2 眼面部防护 应急喷淋和洗眼设备 第2部分:使用指南
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范
- GB 50073 洁净厂房设计规范
- GB 50140 建筑灭火器配置设计规范
- GB 50160 石油化工企业设计防火标准
- GB 50177 氢气站设计规范
- GB 50257 电气装置安装工程 爆炸和火灾危险环境电力装置施工及验收规范
- GB 50316 工业金属管道设计规范
- GB 50351 储罐区防火堤设计规范
- GB 50370 气体灭火系统设计规范
- GB/T 50493 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准
- GB 50650 石油化工装置防雷设计规范
- GB 50974 消防给水及消火栓系统技术规范
- GB 51034 多晶硅工厂设计规范

- GB 51283 精细化工企业工程设计防火标准
- GB 55036 消防设施通用规范
- GB 55037 建筑防火通用规范
- GBZ/T 230 职业性接触毒物危害程度分级
- AQ/T 3034 化工过程安全管理导则
- HG/T 21581 自控安装图册
- SH/T 3097 石油化工静电接地设计规范

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

##### **多晶硅 polycrystalline silicon**

单质硅的一种形态,硅原子以晶格形态排列成许多晶核,这些晶核长成晶面取向不同的晶粒,晶粒组合结晶成多晶硅。

#### 3.2

##### **三氯氢硅还原法 trichlorosilane hydrogenreduction process**

在一定温度下的高纯硅芯上用高纯氢还原高纯三氯氢硅,在硅芯上沉积生长多晶硅;同时具备回收、利用生产过程中伴随产生的氢气、氯化氢、四氯化硅等副产物以及副产热能,最大限度地实现“物料内部循环、能量综合利用”的多晶硅生产工艺。

#### 3.3

##### **还原炉 reduction furnace**

一种生产棒状多晶硅的专用化学气相沉积设备。

#### 3.4

##### **氯硅烷 chlorosilane**

硅烷( $\text{SiH}_4$ )中的氢原子部分或全部被氯原子取代后的物质统称。

注:通常包括  $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{SiHCl}_3$ 、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{SiH}_3\text{Cl}$  等。

#### 3.5

##### **还原尾气 reduction off-gas**

在还原炉内生成多晶硅的反应过程中,未反应完全的原料和生成的副产物的混合气体。

注:主要包括氢气、气态氯硅烷及氯化氢、不定型硅等。

#### 3.6

##### **二氯二氢硅反歧化 dichlorodihydrosilicon anti-disproportionation reaction**

二氯二氢硅和四氯化硅在一定温度和催化剂作用下生成三氯氢硅的反应。

#### 3.7

##### **主工艺物料系统 main process material system**

包括氯硅烷精馏提纯系统、三氯氢硅还原系统、还原尾气干法回收系统、三氯氢硅合成系统、四氯化硅氢化系统、二氯二氢硅反歧化系统、废气淋洗系统、渣浆回收系统、氯硅烷罐区。

### 4 设计与总图布局

#### 4.1 基本要求

4.1.1 多晶硅生产企业的新建、改建、扩建项目,安全设施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入

生产和使用。

4.1.2 多晶硅生产企业应对用于生产、储存危险化学品的建设项目进行安全条件论证,委托具有国家规定资质条件的机构对建设项目进行安全评价。

4.1.3 多晶硅生产企业用于生产、储存危险化学品的建设项目应委托具有工程设计综合资质甲级或者化工石化专业资质甲级的设计单位负责设计。

4.1.4 多晶硅生产企业用于生产、储存危险化学品的建设项目应委托具有化工建设相应资质的施工单位负责施工。

## 4.2 总平面布置

4.2.1 多晶硅生产企业的总平面布置应符合 GB 51034 的有关规定。

4.2.2 厂区消防通道设计应符合 GB 50016、GB 50160 和 GB 55037 的有关规定。

4.2.3 多晶硅生产企业的总平面布置应根据生产工艺流程、生产特点和火灾危险性,结合地形、风向等条件,按功能集中原则分区布置,可分为生产区、公用工程及辅助设施区、储运区、集中控制区、行政办公区。

## 4.3 工艺及生产装置

4.3.1 工艺流程选择、设备选型及工艺布置,应根据多晶硅生产主要物料的易燃易爆、有毒及火灾危险等危害特性确定,选择符合国家标准、安全可靠的工艺设备和流程。安全设施的设计、制造、安装、使用、检测、维修等应符合国家有关标准的规定。

4.3.2 工艺生产系统内的设备、管道的材质以及管阀件,应根据物料性质和工况条件选取,并应采取相应的安全防护措施;金属管道的材料、组成件的选用、布置应符合 GB 50316 和 GB 20801 的要求。

4.3.3 生产设备应具备基本安全功能,符合 GB 5083 的通用安全要求。锅炉、压力容器、压力管道、电梯、电动葫芦、供垂直运输物品的升降机、叉车等特种设备应符合国家有关法规和标准的要求。

4.3.4 工业管道的识别色、识别符号、安全标识应符合 GB 7231 和 GB 2894 的要求。

4.3.5 生产工艺排放点均应设放空装置,并定期检查其有效性。当通过排气筒、放空管直接向大气排放无环境污染的放空气时,排气筒、放空管的高度应符合 GB 50160 的有关规定。不应将导出管置于下水道等限制性空间。放空管宜选用金属材料或者采取防静电措施的非金属材料。含可燃气体的放空管上应设有阻火设施,应静电接地。管口上应有挡雨、阻雪的措施。可燃气体连续对空排放管道上应设置氮气置换设施。

4.3.6 液氯汽化工序宜使用盘管式或套管式汽化器的液氯全汽化工艺,液氯汽化温度不应低于 71 °C,热水温度宜控制在 75 °C~85 °C。不应将液氯贮槽(罐)、罐车或半挂车槽罐直接作为液氯汽化器使用。液氯汽化器、预冷器及热交换器等设备,应装有排污( $\text{NCl}_3$ )装置和污物处理设施,并定期分析  $\text{NCl}_3$  含量,排污物中  $\text{NCl}_3$  含量(质量分数)应小于 0.5%。

4.3.7 主工艺物料系统应设安全阀、爆破片、事故紧急排放、氮气稀释灭火等安全设施。还原炉夹套冷却、三氯氢硅合成炉冷却、天然气制氢转化炉夹套冷却等系统应设置安全阀等安全设施。

4.3.8 硅芯制备采用区熔法拉制工艺时,宜设置电磁屏蔽。

4.3.9 腐蚀清洗工序的腐蚀清洗设备内,酸腐蚀部位应设置强制通风,废气应处理达标后再排放;输送硝酸、硫酸等强酸的管道应采用双层套管,外层宜采用透明聚氯乙烯(PVC)管等防腐蚀、防喷溅措施。

4.3.10 液氯汽化、氯化氢与三氯氢硅合成、四氯化硅冷氢化、提纯、还原尾气干法回收、渣浆回收等存有氯气、氯硅烷的装置区,以及涉及强酸强碱工序装置区和储罐区内应按照 GB/T 38144.1 和 GB/T 38144.2 相关条款设置冲洗和洗眼设施。

4.3.11 有爆炸危险的甲、乙类火灾危险性的设备宜露天或半露天布置,但有工艺洁净要求或有防冻、防风沙限制设备的厂房或装置,如多晶硅还原、电解水制氢等,采取泄爆措施后可布置在封闭建筑内。

4.3.12 涉及氯硅烷的系统宜采用气密试验；若采用水压试验，试验后应对系统进行干燥，达到露点 $\leq -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.4 防火、防爆设计与安全疏散

4.4.1 厂房和库房的防火分区、疏散口布置及疏散距离应符合 GB 50016 和 GB 55037 的有关规定；厂房洁净区的防火设计应符合 GB 50073 的有关规定。

4.4.2 当装置框架为钢结构时，钢结构的耐火保护应符合 GB 50160 和 GB 55037 的有关规定。

4.4.3 罐区的防火堤设计应符合 GB 50351 的有关规定。

4.4.4 甲、乙、丙类多层厂房内各层由不同功能房间组成时，宜按层划分防火分区，疏散楼梯应采用封闭楼梯间或室外楼梯。封闭楼梯间的门应为乙级防火门，且应向疏散方向开启，双扇门应具备顺序启闭功能。

4.4.5 同一防火分区内有不同性质的物料生产时，其火灾分类，应按火灾危险性较大的部分确定。多晶硅生产火灾危险性分类见附录 A。

4.4.6 爆炸危险区域的划分应按照 GB 50058 的有关规定执行。有爆炸危险的甲、乙类厂房泄压面积的设置应按照 GB 50016 的有关规定执行，并应对人员安全疏散采取防护措施。

4.4.7 还原炉室等甲类火灾危险性且有防爆要求的厂房内不应设置办公室、休息室、巡检室。如需要设置更衣室、工具室、卫生间等辅助房间，这些辅助房间应设置在还原炉室端墙贴邻一侧，并应采用耐火极限不低于 3.0 h 的不燃体防爆防护墙与还原炉室分隔；当防爆防护墙兼防火墙时，耐火极限不低于 4.0 h。

4.4.8 还原系统的变压器室、调功器室、高压启动室、炉体冷却水系统等辅助房间，应与还原炉室布置在不同的隔间或防火分区内，并采取防火墙、防爆防护墙、防火楼板分隔，平面布置应符合 GB 50016 和 GB 55037 的有关规定。

4.4.9 还原炉室应采用泄爆墙及带有通风设施的泄压屋面。外墙与屋面泄压面积符合下列规定。

- a) 泄压面积应符合 GB 50016 的有关规定。
- b) 泄压设施应采用易于脱落的轻质屋盖、易于泄压的门和窗及轻质墙体。作为泄压面积的轻质墙体及轻质屋面板自重不应超过  $60\text{ kg/m}^2$ ，材料的燃烧性能等级应为 A 级。应采用在爆炸时不产生尖锐碎片材质的门、窗，如安全玻璃等。
- c) 泄压设施应避开人员密集场所和主要交通道路，以及其他设施和建筑物的新风进口，并合理设置安全警示标志。

4.4.10 制氢装置房间与其他辅助房间应用耐火极限不低于 4 h 的防爆防护墙分隔，制氢装置房间应设置泄压屋面或墙面，泄压面积计算和设置要求应符合 GB 50016 的有关规定，同时满足 GB 50177 的有关规定。

4.4.11 中心控制室不应与设有甲、乙<sub>A</sub>类设备的房间布置在同一建筑内，同其他建筑贴邻建造时应划分成独立的防火分区。

4.4.12 下列场所可不计入建筑防火分区内：

- a) 防烟楼梯间及其前室；
- b) 消防电梯前室及其合用前室；
- c) 设置甲级防火门的封闭楼梯间、敞开连廊。

4.4.13 与甲、乙类厂房贴邻并供该甲、乙类厂房专用的 10 kV 及以下的变配电所，应采用无开口的防火墙或抗爆墙一面贴邻，与乙类厂房贴邻的防火墙上开口应为甲级防火窗。其他变配电所应设置在甲、乙类厂房以及爆炸危险性区域外，不应与甲、乙类厂房贴邻。

4.4.14 因工艺生产的特性需求，联合厂房相邻外墙需设置连通口时，应采取相应的防火措施，相邻外墙的防火间距及构造要求应符合 GB 50016、GB 55037 及 GB 51283 的有关规定。

## 4.5 电气设施

### 4.5.1 防雷、防静电

4.5.1.1 生产作业场所的各类建、构筑物应设置防雷设施。防雷设施及防雷装置应符合 GB 50057 和 GB 50650 的要求。防雷设施应由有资质的单位进行设计、安装和检测。

4.5.1.2 生产作业场所内可能产生静电危害的设备及管道,应按照 GB 12158 和 SH/T 3097 的要求采取工业防静电接地措施,各专设的静电接地电阻值不应大于 100  $\Omega$ 。

4.5.1.3 三氯氢硅还原装置、还原尾气干法回收装置、制氢装置、氢气储罐区、氢气压缩机房、氯硅烷罐区等重点爆炸危险区域的入口处、储罐扶梯进口处,应设置人体静电消除及消除效果验证装置。

### 4.5.2 防火、防爆、电气安全

4.5.2.1 爆炸危险区域的划分应根据工艺装置特点确定,并应符合 GB 50058 的有关规定。

4.5.2.2 制氢装置、氯化氢合成装置、三氯氢硅合成装置、氯硅烷分离提纯装置、三氯氢硅还原装置、还原尾气干法回收装置、四氯化硅氢化装置、氢气和氯硅烷罐区等爆炸性气体环境中电气装置的选型应符合 GB 50058 的有关要求。

4.5.2.3 硅粉库中若硅粉采用吨袋等密封包装,且转运、存储过程中无拆卸包装裸露硅粉的情况,该硅粉库内用电设备可不考虑粉尘防爆和气体防爆;若存在粉尘爆炸环境,或扬尘可导致二次爆炸环境,电气设施应满足粉尘防爆环境要求。

4.5.2.4 爆炸危险场所的电气设备和线路的设计和安装应符合 GB 50058 和 GB 50257 的规定。各种场所的电气设施防爆等级应符合 GB 50058 的规定。

4.5.2.5 还原炉体冷却水泵、还原炉底盘冷却水泵、还原炉电极冷却水泵、产品后处理装置废气洗涤系统、工艺废气洗涤循环泵、硅烷废气处理装置碱液循环泵等用电负荷,应属于一级负荷中的特别重要负荷,除应由双电源供电外,尚应增设应急电源。

## 4.6 过程自动控制

4.6.1 中心控制室及装置控制室应设置不间断电源(UPS),连续供电时间不应小于 30 min。

4.6.2 制氢装置、氯化氢合成装置、三氯氢硅合成装置、还原炉室、还原尾气干法回收装置、四氯化硅氢化装置、氢气和氯硅烷罐区、氢气压缩机房等危险区域内,应按照 GB/T 50493 的要求设置可燃气体及有毒气体检测报警系统。涉及氩气、氮气等气体的相对密闭场所应设置氧气浓度检测报警装置。

4.6.3 可燃气体和有毒气体检测报警信号应送至 24 h 有人值守的现场控制室、中心控制室等进行显示报警;可燃气体二级报警信号、可燃气体和有毒气体检测报警系统报警控制单元的故障信号应送至消防控制室。

4.6.4 易燃易爆装置内的保护管与仪表、检测元件、电气设备、接线箱、接线盒等应符合 HG/T 21581 和 GB 50257 的有关要求。

4.6.5 氯硅烷罐区、还原炉室、冷氢化装置和重大危险源等场所应设置视频监控系统,并根据爆炸危险区域的划分采用适用等级的防爆视频监控设备。

4.6.6 根据 GBZ 230 确定为中度(Ⅲ)、高度(Ⅱ)、极度(Ⅰ)危害介质,如二氯二氢硅、三氯氢硅等不应使用玻璃质液位计。

4.6.7 四氯化硅氢化加热器和导热油加热器温度控制装置宜采用冗余配置,并定期校验。氢化反应器及系统中的安全附件、安全保护装置、测量调控装置及有关附属仪器应完整、齐全、有效。

4.6.8 三氯氢硅合成、还原、四氯化硅氢化、还原尾气干法回收、电解水制氢、氯硅烷罐区等装置区内,应根据物料的危害特性和工况条件设置仪表检测报警、自动联锁保护系统、消防应急联动系统。

4.6.9 生产现场主要出入口处及有人巡检操作且可能出现可燃、有毒气体积聚的相对封闭的场所,应设置区域声光报警器。

4.6.10 构成一级、二级重大危险源的罐区及生产装置应能实现紧急切断功能;涉及毒性气体、液化气体、剧毒液体的一级、二级重大危险源的罐区及生产装置应配备独立的安全仪表系统。

#### 4.7 消防设施

4.7.1 多晶硅工厂应按照 GB 50016、GB 50160、GB 50974、GB 50370、GB 50140、GB 55036、GB 55037 的有关规定设置消防设施。

4.7.2 制氢装置、氯硅烷罐区、四氯化硅氢化装置、还原炉室、还原尾气干法回收等主要火灾危险场所以及公用工程辅助设施区应设置火灾报警系统,并配备灭火设施。

4.7.3 多晶硅工厂应设置稳高压消防给水系统。

4.7.4 装置区、储罐区应按照 GB 50160 的有关规定设置固定式消防水炮。

4.7.5 三氯氢硅合成装置、还原厂房、还原尾气干法回收装置、四氯化硅氢化装置、氯硅烷储罐区等涉及氯硅烷物料的装置和硅粉库应配置消防干砂。氯硅烷储罐区砂箱容量不应少于  $2 \text{ m}^3/\text{套}$ ,其余装置砂箱容量不应少于  $0.5 \text{ m}^3/\text{套}$ 。

4.7.6 厂房的洁净区消防设施按照 GB 50073 执行。

4.7.7 生产作业场所应按照 GB 50140 的规定,根据火源及着火物质性质,配备适当种类、足够数量的消防器材,并定期检查,保持有效状态。扑救初期三氯氢硅、二氯二氢硅等危险物料应选用干粉灭火器和干砂,同时配备氮气管线用于应急。

#### 4.8 通风与排烟

4.8.1 生产过程中产生粉尘、可燃有毒气体或烟尘的作业场所,无组织排放至室外不符合 GB 16297 及其他相关排放标准时,应设机械通风,在排放前应采取净化措施,并应达到相关污染物排放标准的要求。多晶硅生产场所空气中主要有毒物质及粉尘容许浓度、多晶硅生产过程中的危险、有害因素分别见附录 B、附录 C。

4.8.2 防排烟系统的设计应符合 GB 50016 和 GB 55037 的有关规定。

4.8.3 还原炉室房间相对于非防爆区,如更衣间、与后处理车间的洁净连廊等,应保持微负压,局部排风与整体排风符合下列规定:

- a) 还原炉室应设局部排风、整体排风与事故排风系统,总排风量应按换气次数大于或等于 12 次/h 计算;
- b) 排风机应符合防爆要求,事故风机电源应接入应急电源,应与可燃有毒报警仪连锁;
- c) 事故排风机宜设置备用风机;
- d) 事故吸风口上缘至顶板的距离不应大于 0.1 m;
- e) 风管应采取防静电接地措施。

4.8.4 腐蚀清洗等工序排出的酸性废气,应采用局部排风,所含酸性废气应采用酸雾净化塔进行处理。

4.8.5 喷砂、硅棒破碎等产生粉尘的生产工艺,应设置过滤除尘系统,并按照 GB 15577 设置粉尘防爆措施。

4.8.6 硅芯炉泵房、石墨煅烧炉泵房等应设置整体排风系统,通风换气次数应不小于 6 次/h。

4.8.7 洁净区排风管上应采取防止室外空气倒灌的措施。

4.8.8 各动力站房应有良好的通风措施,宜采用自然通风;当自然通风不能满足生产或安全、卫生要求时,应设置机械通风或自然通风与机械通风联合的通风方式。

#### 4.9 危险化学品储存

4.9.1 氯硅烷罐区应按照该罐区单个最大储罐的容积设置事故储罐,且日常应保持空罐备用。

4.9.2 采用氢气密封保护系统的氯硅烷储罐,应同时设置应急氮气系统,紧急情况下应能远程控制通入氮气,氮气管道应设置防物料互串设施。

4.9.3 四氯化硅冷氢化、三氯氢硅合成等工序排出的废硅粉应储存在专用仓库内,不应与易燃物、可燃物、强酸等禁忌物质混存混放或接触。应采取防止自燃反应措施。

4.9.4 企业应按照 GB 30000.31 的要求对作业场所使用的化学品设置安全警示标志。

4.9.5 各类危险化学品的仓库储存应符合 GB 15603 的规定。

## 5 生产过程安全

### 5.1 一般要求

5.1.1 在多晶硅系统运行过程中,需要对稳压的储罐和塔器补充其所使用的高纯氢气。同时设置氮气保护系统,紧急情况下应能远程控制通入氮气,氮气管道应设置防物料互串设施。

5.1.2 企业应建立氮气安全使用管理制度。

5.1.3 企业应对输送含硅粉、渣浆等物料的易磨损管线、设备壁厚进行定期检测,避免因磨损发生泄漏。

5.1.4 企业应根据岗位职业病危害因素和安全风险辨识及评价情况,按呼吸防护、面部防护等标准,制定劳动防护用品配发和管理制度。具体应包含但不限于:

- a) 进行硅粉添加、硅粉排放、石墨处理、硅块破碎等粉尘环境作业时,应穿戴防尘服、防尘口罩;
- b) 涉及液相物料的管线打开、物料添加等作业时,应配戴护目镜、面罩、耐酸碱手套、耐酸碱鞋、防化服;
- c) 进入涉及危化品的受限空间,除应根据物料特性穿戴防护用品外,应使用长管式呼吸器,并设置正压式送风机等通风设施;
- d) 进入爆炸危险性装置,应穿防静电服装,随身携带应急防护用品;
- e) 进入含易燃易爆和有毒有害气体作业场所,应配备便携式可燃有毒气体报警仪;
- f) 其他劳动防护管理应符合国家及地方相关标准。

5.1.5 企业应开展劳动防护用品使用培训,对需要使用劳动防护用品的人员进行考核。

5.1.6 大型多晶硅企业应建立专职消防队。中小多晶硅企业,若园区或相邻企业有专职消防队,且消防应急救援人员能在 5 min 之内到达企业范围内的,可委托其他消防队作为企业应急救援队。若其他消防队应急救援人员不能在 5 min 之内到达,中小型也应建立专职消防队。在岗专职消防队员应包含消防车驾驶员、输水员、灭火等人员,且人员总数不能低于 8 人,消防监控室应 24 h 有人值守。

### 5.2 生产装置开车基本要求

5.2.1 系统开车前应按照 AQ/T 3034 规定的内容组织检查,进行安全条件确认。

5.2.2 进料前应确保所有相关设备、阀门、管道均已打压检漏吹扫合格,各种仪表监控装置经校验合格并正常投用。

5.2.3 应检查并确认水、电、汽(气)符合开车要求,设备及其安全附件完好,各种原料、辅料的供应应齐备、合格,投料前应进行分析验证。

5.2.4 应检查阀门开闭状态及盲板抽加情况,保证装置流程畅通,各种机电设备及电气仪表等均应处在完好状态。

5.2.5 保温、保压及洗净的设备应符合开车要求,必要时重新置换、清洗和分析合格。

5.2.6 开车过程中应加强有关岗位之间的联络,严格按照操作规程(或作业指导书)的要求操作。严格遵守升降温、升降压和加减负荷的顺序和幅度(速率)要求。

5.2.7 开车过程中应密切观察工艺参数的变化和设备运行的情况,加强与有关岗位和车间的联系,发

现异常现象应及时处理,情况紧急时应中止开车、按程序紧急停车。

### 5.3 生产装置停车基本要求

5.3.1 应按 AQ/T 3034 的规定编制停车方案,操作人员应按照停车方案 and 操作规程进行操作。用于紧急处理的自动停车连锁装置,不应用于正常停车。

5.3.2 系统降压、降温应按照要求的幅度(速率)并按先高压后低压的顺序进行。凡需保压、保温的设备容器等,停车后应每小时记录压力、温度的变化。

5.3.3 压缩机等大型机组的停车,应先停主机后停辅机。

5.3.4 设备(容器)卸压时,应注意易燃、易爆、易中毒等危险化学品的排放和散发,都应进入尾气处理系统,防止造成事故。

5.3.5 冬季停车后,应采取防冻防凝措施。

### 5.4 三氯氢硅合成

#### 5.4.1 系统开停车

5.4.1.1 硅粉下料时应打开除尘装置,控制加料速度,防止粉尘飞扬。操作者应佩戴相应劳动防护用品。

5.4.1.2 硅粉加料完成后关闭硅粉干燥仓下料阀门。

5.4.1.3 首次开车进氮气前应确保所有相关设备、阀门、管道均已吹扫、试压合格,各种仪表监控装置经校验合格并正常投用,正常生产过程中持续通氮气干燥。

5.4.1.4 电加热器作业规程中应明确升降温速率,电加热设备运行时应确保有足量的气体流动,避免因局部过热或过冷造成设备、管道发生泄漏。升、降温速度不能过快,防止设备管道因为短时间内形变过大而造成损坏。

#### 5.4.2 三氯氢硅合成正常运行

5.4.2.1 三氯氢硅合成系统以及相关所有设备管道采用高纯氮气置换,并检测氮中氧以及露点,合格后才能采用高纯氢气置换。

5.4.2.2 应按照工艺技术操作规程的要求逐步开车,注意氯化氢流量、硅粉添加量及反应炉升温速度,防止因为升温过快引起反应炉失去控制,发生事故。在系统开车过程中注意冷热源的投入应遵循“先冷后热”的原则,先通冷却介质,再通加热介质,在通入热源之前要先进料,应避免加热设备“干烧”的状况。

5.4.2.3 正常运行时突然停水、停电,泵、压缩机、冷冻系统会立刻跳停,三氯氢硅合成压缩前系统压力会迅速升高,应立即开启三氯氢硅合成压缩前系统尾气阀门泄压,停止向三氯氢硅合成系统供料,操作人员严密监控各个参数,一旦出现超压现象应及时泄压。

5.4.2.4 氢气或物料泄漏,应立即将泄漏部位与其他部分断开,利用尾气管道泄压,当系统压力低于氮气系统压力时,向系统内通入高纯氮气,降低泄漏物中可燃物质含量,避免发生着火爆炸等次生事故。

#### 5.4.3 重要参数控制

5.4.3.1 三氯氢硅合成系统重要压力控制点:氯化氢进口压力、合成炉顶压力、合成炉硅粉料层压差、合成炉分布器压差。

5.4.3.2 三氯氢硅合成系统重要温度控制点:合成炉底/中/上部温度、洗涤塔底部温度、深冷换热器出口温度。

5.4.3.3 三氯氢硅合成系统重要流量控制点:氯化氢进气流量、洗涤塔喷淋流量。

#### 5.4.4 异常情况的判断与处理

5.4.4.1 系统发生堵塞:由于反应设备及原料干燥不够,有少量水分就会使合成产品发生水解,积累在管道、阀门、接头及过滤器等处,使系统发生堵塞。通过压差判断堵塞位置,停车检修处理。

5.4.4.2 系统发生泄漏、跑料现象:应进行检查及时处理,如泄漏较大时应停车检修。

5.4.4.3 反应器料层压差变化,多为硅粉料层变化所致,若判断出现严重偏流或死床的情况则应停车处理。换热器物料侧压差持续变大,多为列管堵塞所致,则应停车处理。

### 5.5 氯硅烷分离

#### 5.5.1 提纯塔开车

5.5.1.1 应用高纯氮气置换提纯塔以及相关所有设备管道,并检测氮中氧和露点合格。

5.5.1.2 应按照工艺技术操作规程的要求逐步开车,注意进料流量,升温升压速度,防止因为升压过快引起塔失去控制,发生事故。在开塔过程中注意,冷热源的投入应遵循“先冷后热”的原则,先通冷却介质,再通加热介质,在通入热源之前要先进料,应避免加热设备“干烧”的状况。

#### 5.5.2 提纯塔停车

5.5.2.1 提纯塔停车时应遵循“先热后冷”的原则,当提纯塔所有进出料停止,与其他系统断开后,先停止热源,保持冷却水继续运转,待塔内温度降下来、塔压维持稳定后方可关闭冷却循环水。停塔过程中应随时监视塔内压力和温度情况。

5.5.2.2 提纯塔停塔后依据实际情况进行后续处理。如停塔后不需检修且物料没有导出,则应继续监视塔内各个参数,不应出现超温超压及负压现象;如需要检修,则应把塔内所有物料导出,高纯氮气置换合格后进行检修。

#### 5.5.3 正常运行操作

5.5.3.1 提纯塔运行中应按照工艺操作参数控制,压力、温度、液位、流量等参数不应超过所有参数的控制范围,保证提纯塔物料平衡和能量平衡。

5.5.3.2 提纯塔运行中应观察各参数运行是否异常,对循环水 pH 值或电导值及系统压力进行在线监测,以确保在换热器泄漏时能够及时发现处理。

5.5.3.3 提纯塔运行过程中应加强对现场的巡检,及时发现事故隐患并及时处理;保证各测压点、测温点、液位计等仪表监控设施的完整性,发现异常及时联系处理。

#### 5.5.4 重要参数控制

5.5.4.1 提纯系统重要压力控制点:塔顶压力、塔釜压力、相关储罐压力。

5.5.4.2 提纯系统重要温度控制点:塔顶温度、塔釜温度、塔中温度、循环水回水温度。

5.5.4.3 提纯系统重要流量控制点:进出料流量、热源流量。

5.5.4.4 提纯系统重要液位控制点:塔釜液位、相关储罐液位。

#### 5.5.5 异常情况的判断与处理

5.5.5.1 提纯塔物料泄漏:提纯塔运行中如果出现泄漏时应立即采取停塔处理措施,停止加热,停止进出料,将塔内物料退至应急储罐,打开尾气阀门泄压,如果条件允许,可使用带压堵漏工具对泄漏部位进行封堵,否则待压力降低后将塔内物料导出,高纯氮气置换,分析合格后再对泄漏部位进行处理。

5.5.5.2 相关水换热器泄漏的判断与处理如下:

- a) 水泄漏进氯硅烷中:运行中一旦发现塔内压力在热量、冷量未变化的情况下迅速升高,应立即对该塔进行全面排查,若确认为换热器泄漏,应立即将换热器水路进、回水阀门关闭,换热器内部水排出,塔内氯硅烷全部导出,然后用氮气置换,待氮气置换合格后对相应设备进行检修;
- b) 氯硅烷泄漏进水中:运行中一旦发现换热器回水的 pH 值降低、电导值升高,Cl<sup>-</sup> 浓度升高,确定换热器泄漏,应立即停塔,关闭热源,根据塔压力变化,将换热器水路进回水阀门关闭,换热器内部水排出,塔内氯硅烷全部导出,然后用氮气置换,待氮气置换合格后对相应设备进行检修。

## 5.6 三氯氢硅还原

### 5.6.1 系统开车

5.6.1.1 开车前要确保各种电气、仪表设备经校验合格并正常投用。

5.6.1.2 应按照工艺技术操作规程的要求逐步开车,硅芯高压击穿时人员禁止触摸还原炉及与其相连的任何管路设施;启炉成功后注意进料流量、升温升压速度的平稳控制,防止因为升压过快出现泄漏事故。

5.6.1.3 开车过程中,现场巡检监护人员应携带便携式可燃性气体报警仪、防毒面具、防爆对讲机等,一旦检测到有泄漏状况,在采取自我防护措施的前提下,及时与中控室取得联系,并服从指挥,按照应急预案进行处理。

### 5.6.2 系统停车

还原炉停混合气后,应先通氢气进行置换,硅棒断电后,应待还原炉出气温度降低至 150 ℃ 以下再通入氮气进行置换。

### 5.6.3 正常运行操作

5.6.3.1 建立巡检监测制度,及时巡检炉内情况,并监测炉内压力,进出气温度、压力变化;适时检查还原炉连接电缆、接头等运行状况,防止过热烧红现象发生。发现异常,按应急预案进行处理。

5.6.3.2 定时进行巡检,记录工艺运行参数,并比照前后运行参数,防止系统出现异常。

### 5.6.4 重要参数控制

5.6.4.1 三氯氢硅还原系统重要压力控制点:三氯氢硅汽化器压力、还原炉尾气压力、蒸汽闪蒸罐压力、各冷却水系统上/回水压力。

5.6.4.2 三氯氢硅还原系统重要温度控制点:三氯氢硅汽化器温度、还原炉尾气温度、各冷却水系统上/回水温度。

5.6.4.3 三氯氢硅还原系统重要流量控制点:三氯氢硅进料流量、氢气进气流量、各冷却水系统上水流量。

5.6.4.4 三氯氢硅还原系统重要液位控制点:三氯氢硅汽化器液位、各冷却水系统储罐液位。

### 5.6.5 还原电气设备

5.6.5.1 还原高压击穿系统与低压调功系统可靠电气连锁。

5.6.5.2 还原电气装置应有硅棒接地报警,预防在运行过程中硅棒靠炉壁生长烧坏炉筒,使冷却介质进入物料系统酿成重大事故。

5.6.5.3 还原调功装置报警显示可控硅冷却水泄漏,应切断主电源。

5.6.5.4 还原电气装置应有过流、短路等保护,保证设备安全。

5.6.5.5 还原炉停止运行期间,还原主变电源应彻底有效断开,保证拆装炉操作的安全。

## 5.7 还原尾气干法回收

### 5.7.1 系统开车

5.7.1.1 所有相关设备管道应采用高纯氮气置换,并检测氮中氧以及露点合格,然后才能采用高纯氢气置换和进料。氮气置换时采用单点充压,多点顶部泄压的方式进行,泄压速度参照国家标准;氢气置换采用单点充压,多点底部泄压的方式进行,泄压速度要缓慢。

5.7.1.2 氮气置换合格后,进行氢气置换,合格后进行氢气联动试车,检查系统运行情况。

5.7.1.3 干法回收系统进料后,循环降温的过程中应加强现场巡检,对低温设备螺栓进行检查紧固,防止因为系统温度降低造成的泄漏。降温过程中严格控制降温速度,防止低于设备承受温度而发生的设备损坏。

### 5.7.2 系统停车

5.7.2.1 干法回收系统停车过程中,应注意各参数是否异常,特别是鼓泡淋洗系统和脱吸塔压力是否异常(不能超过系统设定压力),随时做好泄压的准备。

5.7.2.2 停车之后,注意各设备液位,防止液位超出监控范围。

### 5.7.3 正常运行操作

5.7.3.1 在干法回收系统运行期间,操作者应确保鼓泡淋洗系统压力、温度;吸收部分压力、温度;各个液位等参数都保持在正常范围内。动设备操作人员应监控好泵的正常运行和压缩机、冷冻系统的进出口温度、压力、油位等指标。

5.7.3.2 加强现场巡检,及时发现事故隐患并及时处理;保证各测压点、测温点、液位计等仪表监控设施的完整性,发现异常及时联系处理。

5.7.3.3 运行中应定时对系统中各物料进行检测(成分、杂质),通过检测结果对控制参数进行适当的调整,以优化系统的运行。

### 5.7.4 重要参数的控制

5.7.4.1 还原尾气干法回收系统重要压力控制点:压缩机进口压力、出口压力。

5.7.4.2 还原尾气干法回收系统重要温度控制点:吸收液温度、分离塔釜温度。

5.7.4.3 还原尾气干法回收系统重要流量控制点:氯硅烷循环量、装置再生气流量。

5.7.4.4 还原尾气干法回收系统重要液位控制点:吸收塔液位、分离塔液位。

### 5.7.5 异常情况判断及处理

5.7.5.1 正常运行时突然停水、停电,泵、压缩机、冷冻系统会立刻跳停,会造成吸收塔、吸附柱、氢气缓冲罐的高压气体反窜至冷凝系统,导致压力迅速升高,应设置紧急切断阀门或止逆设备,防止气体反窜。操作人员严密监控各个参数,现场安排专人负责,一旦出现超压现象应及时泄压。

5.7.5.2 氢气或物料泄漏,应立即将泄漏部位与其他部分断开,利用尾气管道泄压;当系统压力低于氮气系统压力时,向系统内通入高纯氮气,降低泄漏物中可燃物质含量,避免发生着火、爆炸等次生事故。

5.7.5.3 系统正常运行,压力突然升高或降低,可能是阀门没有关严或内漏,应排查高低压之间的连通阀门,及时消除隐患。

5.7.5.4 系统正常运行,温度突然升高或降低,应检查相应的冷源或热源阀门、压力,及时调整。

## 5.8 四氯化硅冷氢化

### 5.8.1 系统开停车

5.8.1.1 系统开车准备硅粉与触媒下料时应打开除尘装置,控制加料速度,防止固体粉尘飞扬。操作者应佩戴相关劳动防护用品。

5.8.1.2 进氢气前应确保所有相关设备、阀门、管道均已打压检漏吹扫合格,各种仪表监控装置经校验合格并正常投用。

5.8.1.3 系统正常开车升温过程应严格监控系统各参数的变化情况,升温速度不能过快,防止设备管道因为短时间内形变过大而造成的损坏,直至达到设定温度和压力后,系统进料正常运行,同时到达一定温度后对法兰进行热紧。运行过程使用高纯氢气将最后一级硅粉加料罐中硅粉推送进入流化床。

5.8.1.4 系统停车检修。停车时应遵循“先热后冷”的原则,控制电加热器降温速率,保持氢气压缩机运行,当系统温度降至规定值之下,再停止降温设备和压缩机;停车后将系统内剩余物料导出,压力降为微正压,氮气置换。氮气置换合格后,将氢化系统与其他系统加盲板断开,按照检修方案进行检修。

### 5.8.2 正常运行操作

5.8.2.1 严格执行循环氢气压缩机倒机操作,应控制压力波动小于 10%,避免出现局部塌床,流化床分布器压差异常。

5.8.2.2 严格控制洗涤塔底部温度,按照操作规程进行排渣操作,避免塔底堵塞。

### 5.8.3 重要参数的控制

5.8.3.1 氢化系统重要压力控制点:压缩机进口缓冲罐压力、压缩机出口缓冲罐压力、反应器压力、冷却器压力、出料罐压力。

5.8.3.2 氢化系统重要温度控制点:电加热器出口温度、洗涤塔温度、反应器温度、换热器温度、冷凝料温度。

5.8.3.3 氢化系统重要流量控制点:进料流量、补氢流量、循环流量、出料流量、氯化氢流量(氯氢化工艺)。

5.8.3.4 氢化系统重要液位控制点:混合器液位、冷凝料液位。

### 5.8.4 异常情况的判断与处理

5.8.4.1 反应器外排的废硅粉发生着火时,应及时转移至空旷地带并采用干砂覆盖的方式进行灭火。

5.8.4.2 氢化系统运行中发生泄漏着火时,应立即停止所有运行设备,切断物料、氢气来源,利用各个尾气点泄压,同时保证系统内为正压,防止回火,当系统压力低于氮气管网压力时及时充氮气灭火。

## 5.9 二氯二氢硅反歧化

### 5.9.1 系统开车

5.9.1.1 树脂干燥包括以下两种方法。

a) 方法一:树脂干燥前应采用高纯氮气置换,并检测反应柱中氮中氧以及露点合格,树脂装填量应按照树脂的膨胀系数进行换算后进行装填,树脂装填完成后应进行反应柱或反应器的升压查漏,查漏完成后利用氮气进行树脂干燥(干燥氮气的温度不超过树脂设计的温度),树脂干燥合格后使用少量气相四氯化硅进行树脂活化,待反应柱温度稳定不上涨时缓慢通入液相四氯化硅进行浸泡。

b) 方法二:树脂干燥前确认干燥罐安全附件完好并投用,吹扫气密合格,露点合格。干燥罐树脂装填量应按照树脂的膨胀系数进行换算后进行装填,树脂填装完成后,用高纯氮气进行树脂干

燥(干燥氮气的温度不超过树脂设计的温度)。树脂干燥过程中,取树脂水分样、干燥罐含氧和露点,取样合格后,缓慢将树脂从干燥罐压至含有液相四氯化硅的反应柱中进行树脂活化,过程中注意温度和压力的涨幅,待干燥罐树脂压空后,树脂在反应柱内四氯化硅浸泡时间应大于24 h后投入使用。

5.9.1.2 系统正常开车:系统先投用循环水等冷媒,用纯四氯化硅进行液相循环,循环完成后按照操作规程要求进行进料,逐步投用蒸汽,将系统的温度、压力、液位等指标调至正常值。

## 5.9.2 系统停车

5.9.2.1 停止反歧化的加热蒸汽及冷却循环水,停止反歧化的进料及采出,从反应柱底部将大部分的物料退出系统。

5.9.2.2 停运的反应柱严格控制压力及温度,防止剩余物料发生歧化反应导致设备超压。

## 5.9.3 系统运行

5.9.3.1 树脂运行按照工艺操作规程(或作业指导书)规定的温度、压力、流量、液位进行控制。

5.9.3.2 加强现场巡检,发现事故隐患并及时处理;保证各测压点、测温点、液位计等仪表监控设施的完整性,发现异常及时联系处理。

## 5.9.4 重要参数的控制

5.9.4.1 反歧化系统重要压力控制点:反歧化反应器进、出口压力。

5.9.4.2 反歧化系统重要温度控制点:反歧化反应器进、出口温度,反歧化反应器中部温度。

5.9.4.3 反歧化系统重要流量控制点:二氯二氢硅进料流量、四氯化硅进料流量。

5.9.4.4 反歧化系统重要液位控制点:反歧化进料缓冲罐液位。

## 5.9.5 异常情况的判断与处理

5.9.5.1 树脂干燥及活化过程反应柱温度上涨过快需要停止进料,将反应柱内的氯硅烷及时排除并用冷氮气进行降温。

5.9.5.2 树脂卸放过程出现燃烧需要保持反应柱的微正压防止回火,同时利用干粉灭火器、二氧化碳灭火器或氮气及时扑救。

## 5.10 废气淋洗

### 5.10.1 淋洗塔开车

5.10.1.1 应用高纯氮气置换淋洗塔以及相关所有设备管道,并检测氮中氧和露点合格。

5.10.1.2 应先启动喷淋泵,建立液相循环,再逐步并入废气,注意进气流量,及喷淋流量,防止因为淋洗不完全发生环保事故和火灾事故。

### 5.10.2 淋洗塔停车

5.10.2.1 淋洗塔停车时应遵循“先停气后停水”的原则,当淋洗塔进气停止后,废气缓冲罐压力平稳后停喷淋水,停塔过程中应随时监控废气缓冲罐压力情况。

5.10.2.2 淋洗塔停塔后依据实际情况进行后续处理。如停塔后不需检修且物料没有导出,则要通入氮气且保持微正压;如需要检修,则应把塔相连的物料管道进行盲板隔离,高纯氮气置换合格后进行检修。

### 5.10.3 正常运行操作

5.10.3.1 淋洗塔运行中应严格按照工艺操作参数控制,压力、温度、液位、流量等参数不应超过所有参

数的控制范围。

5.10.3.2 淋洗塔运行中重点关注压力是否偏高,判断淋洗塔喷嘴堵塞或塔体连通管堵塞时,应立即倒换至备用塔,检修清理。

5.10.3.3 淋洗塔运行过程中应加强对现场的巡检,及时发现事故隐患并及时处理;保证各测压点、测温点、液位计等仪表监控设施的完整性,发现异常及时联系处理。

#### 5.10.4 重要参数控制

5.10.4.1 废气淋洗系统重要压力控制点:废气缓冲罐压力、淋洗塔压力。

5.10.4.2 废气淋洗系统重要流量控制点:喷淋水流量。

5.10.4.3 废气淋洗系统重要液位控制点:酸水池液位、液封槽液位。

#### 5.10.5 异常情况的判断与处理

淋洗塔泄漏:淋洗塔运行中如果出现泄漏时应立即采取停塔处理措施,停止废气进入塔内,停止喷淋水进入塔内,打开氮气阀门置换系统,分析合格后再对泄漏部位进行处理。

**附 录 A**  
(资料性)  
**多晶硅生产火灾危险性分类**

### A.1 危险化学品火灾危险性分类

多晶硅生产中危险化学品的火灾危险分类应符合 GB 50016 的规定,可燃危险化学品的火灾危险性分类见表 A.1。

**表 A.1 可燃危险化学品的火灾危险性分类表**

序号	危险化学品名称	危险类别	闪点/ ℃	自燃点/ ℃	爆炸极限(V/V)		火灾危险类别
					下限	上限	
1	硅粉(非晶形的)	易燃固体 类别 2	—	—	125 mg/m <sup>3</sup>	—	乙类
2	氢气	易燃气体 类别 1	—	500~571	4.1%	75%	甲类
3	三氯氢硅	自燃液体 类别 1	-28	185	1.2%	90.5%	甲类
4	二氯二氢硅	易燃气体 类别 1	-55	41~47	4.1%	96.0%	甲类

注：二氯二氢硅在潮湿空气中,会发生局部放热反应,实际发生闪爆的环境温度往往大大低于该自燃点,这是多晶硅生产过程中最危险的物质之一。

### A.2 生产装置火灾危险性分类

制氢装置、氯化氢合成装置、三氯氢硅合成装置、氯硅烷分离与提纯装置、三氯氢硅还原装置、还原尾气干法回收装置、四氯化硅氢化装置、氢气罐区、氯硅烷罐区的火灾类别为甲类易燃易爆作业场所。

## 附 录 B

(资料性)

## 多晶硅生产场所空气中主要有毒物质及粉尘容许浓度

多晶硅生产场所空气中有毒物质及粉尘容许浓度见表 B.1。

表 B.1 多晶硅生产场所空气中有毒物质及粉尘容许浓度

序号	危险化学品名称	危险类别	健康危害特性	职业性接触毒物危害程度分级	工作场所接触限值/(mg/m <sup>3</sup> )		
					MAC	TWA	STEL
1	硅粉	易燃固体,类别 2 严重眼损伤/眼刺激, 类别 2B	矽肺	—	—	—	—
2	氢氟酸	急性毒性-经口,类别 2 * 急性毒性-经皮,类别 1 急性毒性-吸入,类别 2 * 皮肤腐蚀/刺激,类别 1A 严重眼损伤/眼刺激, 类别 1	中毒、灼伤	II	2	—	—
3	硝酸	氧化性液体,类别 3 皮肤腐蚀/刺激,类别 1A 严重眼损伤/眼刺激, 类别 1	中毒、灼伤	III	—	—	—
4	氢氧化钾	皮肤腐蚀/刺激,类别 1A 严重眼损伤/眼刺激, 类别 1	灼伤	IV	2	—	—
5	氢氧化钠	皮肤腐蚀/刺激,类别 1A 严重眼损伤/眼刺激, 类别 1	灼伤	IV	2	—	—
6	氯气	加压气体 急性毒性-吸入,类别 2 皮肤腐蚀/刺激,类别 2 严重眼损伤/眼刺激, 类别 2 特异性靶器官毒性-一次接触,类别 3(呼吸道刺激) 危害水生环境-急性危害, 类别 1	中毒、灼伤	II	1	—	—
7	氢气	易燃气体,类别 1 加压气体	窒息	—	—	—	—

表 B.1 多晶硅生产场所空气中有毒物质及粉尘容许浓度 (续)

序号	危险化学品名称	危险类别	健康危害特性	职业性接触毒物危害程度分级	工作场所接触限值/(mg/m <sup>3</sup> )		
					MAC	TWA	STEL
8	三氯氢硅	自燃液体,类别 1 皮肤腐蚀/刺激,类别 1A 严重眼损伤/眼刺激, 类别 1 特异性靶器官毒性-一次接触,类别 3(呼吸道刺激)	中毒、灼伤	Ⅲ	3	—	—
9	二氯二氢硅	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 1 严重眼损伤/眼刺激, 类别 1 特异性靶器官毒性-一次接触,类别 2	中毒、灼伤	Ⅱ	—	—	—
10	四氯化硅	皮肤腐蚀/刺激,类别 2 严重眼损伤/眼刺激, 类别 2 特异性靶器官毒性-一次接触,类别 3(呼吸道刺激)	中毒、灼伤	Ⅲ	—	—	—
11	氯化氢	加压气体 急性毒性-吸入,类别 3* 皮肤腐蚀/刺激,类别 1A 严重眼损伤/眼刺激, 类别 1 危害水生环境-急性危害, 类别 1	中毒、灼伤	Ⅱ	7.5	—	—
12	盐酸	皮肤腐蚀/刺激,类别 1B 严重眼损伤/眼刺激, 类别 1 特异性靶器官毒性-一次接触,类别 3(呼吸道刺激) 危害水生环境-急性危害, 类别 2	中毒、灼伤	Ⅱ	7.5	—	—
<p>注 1: 危险类别表中标记“*”的类别,是指在有充分依据的条件下,该化学品可采用更严格的类别。</p> <p>注 2: “毒性危害级别”参考 GBZ 230。</p> <p>注 3: “工作场所接触限值”参考 GBZ 2.1。</p>							

## 附 录 C

(资料性)

### 多晶硅生产过程中的危险、有害因素

#### C.1 火灾

##### C.1.1 火灾发生条件

火灾发生具备助燃物质、可燃物质、引燃(爆)能量 3 个条件。当氢气、氢气与氯硅烷混合气或三氯氢硅(二氯二氢硅、一氯三氢硅)泄漏时,遇明火、静电或其他能量引燃容易引起火灾;氢气或氢气与氯硅烷混合气或三氯氢硅(二氯二氢硅、一氯三氢硅)容器管道破裂时遇明火、静电或其他能量引燃容易发生火灾。

##### C.1.2 助燃物质

火灾助燃物质为氯气、氧气。

##### C.1.3 可燃物质

多晶硅生产过程中的可燃物质包括但不限于以下种类:

- a) 氢气、三氯氢硅、二氯二氢硅、一氯三氢硅、导热油;
- b) 生产过程中在某些生产装置内形成的未彻底水解的浅黄色干燥团状或块状物质,这些物质具有较强的燃烧性,往往在脚踩的情况下即可发生燃烧;
- c) 活性炭、超细硅粉等(包括还原过程中产生的超细无定型硅)。

##### C.1.4 引燃能量

以下情形可能引燃能量:

- a) 明火或高温物体表面:氢气电加热器、还原炉运行状态、作业场所内部或外部带入的烟火、照明灯具灼热表面,设备、管道、电器表面的过高温度、气焊和切割明火、机动车排气管喷火星、烟囱飞火花等;
- b) 摩擦冲击:机械轴承发热,钢铁工具、铁桶和容器与地面相互碰撞或与地坪撞击、拖拉,带钉鞋与地坪撞击等;
- c) 电器火花:电路开启与切断、短路、过载,线路电位差引起的熔融金属,保险丝熔断、外露的灼热丝等,击穿产生的拉弧等;
- d) 静电放电:氯硅烷设备、容器、管道静电积累或容器、管道破裂、人体静电、气体流速过快、使用塑料管产生静电等;
- e) 雷电;
- f) 化学能:自燃(二氯二氢硅、一氯三氢硅),物质混合剧烈放热反应(三氯氢硅、二氯二氢硅),一氯三氢硅水解放热自燃等;
- g) 日光聚焦。

##### C.1.5 增加燃烧危险的因素

增加燃烧危险的因素包括以下方面:

- a) 密闭空间富氧状态;

- b) 火灾时持续通风；
- c) 盛装易燃易爆液体的压力容器、管道破裂与容器倾覆后的流淌和扩散；
- d) 比空气重的氯硅烷蒸气积聚；
- e) 气温高。

## C.2 爆炸

以下情形会有爆炸风险：

- a) 密闭空间及通风不良处所，易燃气体及粉尘积聚达到爆炸极限，遇到火源瞬间燃烧爆炸；
- b) 氢气、氯硅烷或二者混合气大量泄漏，遇到火源瞬间燃烧爆炸；
- c) 二氯二氢硅泄漏后，遇空气中的水分，即会发生局部放热反应而发生爆炸；
- d) 还原炉开炉误操作，导致在氢气或氢气与氯硅烷化合物与空气共存时，通电形成爆炸；
- e) 氯化氢合成点火程序错误，形成氢气与氯气混合后光照反应，导致爆炸等；
- f) 容器或管道因超压或超温发生的爆炸；
- g) 还原炉内硅棒靠壁运行没及时断电，致使还原炉筒内壁高温熔穿泄漏，冷却水进入炉内汽化造成物理爆炸；
- h) 二氯二氢硅、三氯氢硅等与水换热的设备，发生泄漏导致物料互窜反应产生氢气，在换热介质储罐、缓冲罐遇到点火源导致化学爆炸。

## C.3 中毒

氯气、氯化氢、氯硅烷、氢氟酸等生产性有毒物质，通过呼吸道、消化道及皮肤侵入人体或眼睛。有的可刺激黏膜(上呼吸道)或视网膜，有的可引起过敏反应或皮炎，有的造成急、慢性中毒。

## C.4 灼伤

三氯氢硅、四氯化硅、二氯二氢硅等介质遇水反应，均放出有毒的腐蚀性气体——氯化氢。盐酸、氢氟酸、硝酸、氢氧化钠、氢氧化钾等是直接腐蚀介质，人员在生产活动中因物料迸溅、泄漏、意外接触等原因，导致人体组织灼伤的可能。

## C.5 窒息

多晶硅生产过程中涉及惰性气体(氮气、氩气)的地方较多，因此，多晶硅生产过程中，窒息事故也经常发生。在使用、生产上述物质的三氯氢硅还原、还原尾气干法回收、四氯化硅氢化、活性炭吸附，以及配套建设的氯硅烷罐区等场所，均存在中毒窒息的危险。生产过程或装置中引入氮气作为保护气、置换时使用氮气、硅芯控制过程中用氩气作为保护气等，一旦保护措施不到位均可造成窒息事故。

## C.6 触电

以下情形可能导致触电风险：

- a) 三氯氢硅还原炉开炉时需要用到高电压击穿硅芯，相应的铜排、电极与还原炉的绝缘出现偏离时，可能导致设备损坏和人员触电；
- b) 电解制氢装置的电解槽发生泄漏时，可能会导致设备损坏和人员触电；
- c) 其他用电设备漏电保护失效。

参 考 文 献

- [1] GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素
-