

特种气体存储与输送系统安全管理

夏小丹（上海凸版光掩模有限公司，上海 200233）

摘要：特种气体的存储和输送系统安全管理涉及对各种设备、管道和操作进行全面、科学的管理和控制，以保障系统的安全性和可靠性，防止事故的发生。特种气体存储与输送系统安全管理需要有专业的管理团队进行统一管理，建立健全的管理制度和监测体系，定期进行安全检查和评估，以不断提高安全管理水平和风险管控能力。本文论述了设计安全、设备安全、输送系统安全、生命安全系统及应急与环保等几个方面。

关键词：特种气体；危险性；存储安全；输送安全

随着国内半导体集成电路、太阳能光伏和平板显示等行业的快速发展，对于高纯气体尤其是高纯特种气体的需求量日益增加，及对气体质量要求也越来越高。而特种气体大都具有有毒、易燃易爆、高腐蚀性、高氧化性等性质。因此如何安全、稳定、可靠的贮存和输送特种气体越来越受到企业重视。

1 概述

特种气体是指在常温常压下呈气态的稀有气体元素（如氦、氖、氩、氪、氙、铯和钫）以及其他一些化合物（如氢气、氧气、二氧化碳等），它们具有特殊的物理和化学性质，广泛用于半导体、显示面板、光伏新能源、光纤光缆等电子产业的加工制造过程，主要包括清洗、蚀刻、沉积/成膜、光刻等工序所用气体。除了电子领域外，还用于医疗、测量、食品等众多领域。本文章主要探讨特种气体尤其是高纯特种气体在电子产业的存储与输送系统运行安全。

按特种气体化学性质分为惰性气体、可燃性气体、自燃性气体、氧化性气体及腐蚀性气体几种。工业上常用的惰性气体有 CF_4 、 C_4F_8 、 SF_6 、Ar、 CO_2 、He、Xe、Ne 等；可燃性气体有 AsH_3 、 B_2H_6 、 NH_3 、TEOS、TMB；自燃性气体有 SiH_4 、 PH_3 等；氧化性气体有 NO、 NF_3 等；腐蚀性气体有 HCl、HBr、 BCl_3 、 BF_3 、 SiCl_4 、 POCl_3 、 PF_3 、 PF_5 等。同时，多特种气体兼具两种以上性质，如 Cl_2 、 F_2 同时具有腐蚀性和氧化性。

特种气体通常存在以下危险性：

气体压力高。特种气体通常被储存于高压容器中，如果容器破裂或泄漏，会产生高压喷射，造成伤害。气体具有毒性。一些特种气体（如氯气、氢氰酸等）具有毒性，对人体呼吸系统和中枢神经系统产生影响，可能导致中毒。气体易燃。一些特种气体（如氧气、氢气等）具有易燃性，如果与其他物质接触，可能会

引发火灾或爆炸。气体具有惰性。一些特种气体（如氮气、氩气等）具有惰性，如果长时间暴露在高浓度的惰性气体环境中，可能会导致缺氧窒息。因此，使用特种气体时必须遵守相关的安全规范和操作流程，保证气体储存、运输和使用的安全性。特别是在储存和输送运行过程中，必须采取严格的措施确保设备和系统的完整性，控制气体的泄漏风险。本文深入探讨如何开展特种气体储存和输送系统运行的安全管理。

2 特种气体存储安全管理

2.1 第一道安全保障——特种气体存储设计安全

一般半导体、太阳能光伏和平板显示行业大都在主厂房内建有专门的特种气体间，并根据所用气体种类和性质划分不同的气体间，如易燃性气体间、毒性（腐蚀性）气体间、惰性（氧化性）气体间、剧毒性气体间等。特种气体间的设计、建设应符合相关国家标准和行业标准。从本质安全上控制风险。初步规划设计时，应将布置在生产厂房内的特种气体间集中布置在生产厂房一楼靠外墙位置，通过在内放置气瓶柜、气瓶架、卧式气瓶、气瓶集装格、尾气处理装置等气体设备，由管道向生产设备输送特种气体。特气间应设置排风和事故排风系统，并按负压设计。特气间之间及与其他区域应采用防火隔墙相互隔离，防火隔墙的耐火性能满足消防设计要求。设置灭火系统如自动喷淋系统，并用防火隔墙与其他区域相互隔离。种气体房间的疏散门应采用平开门，并向疏散方向开启。

2.2 第二道安全保障——特种气体设备布置

特种气体设备的布置需考虑到气体的性质、用途和安全性等因素，同时要符合国家和地方的相关规定和标准。不相容特种气体的气瓶架应布置在不同房间里；当布置在同一房间时，气瓶架之间的距离应大于 6m。特种气体房间内的气瓶柜、气瓶架、尾气处理装置、气瓶集装格等设备宜靠墙布置，具有相同或相近

性质的气体设备应布置在一起。特种气体间的中间通道宽度不得小于 2m，特种气体设备的布置应预留满足设备运输、维修与操作、安全逃生的空间。气瓶应垂直存放，并应该固定好，以避免倾斜和倒塌。不同类型的气瓶应该分开存放，并根据气瓶种类设置专门的存储区域。

2.3 第三道安全保障——特种气体存储安全管理

特种气体存储安全管理涉及多个方面，企业必须制定严格的管理制度，加强人员培训和现场监管，提高安全意识和应急处理能力，以确保设施和人员的安全。以下将从管理制度、安全培训、现场管理和应急演练等方面探讨。

2.3.1 制度与安全培训

根据特种气体物理化学性质和设备操作特性，公司组织相关技术人员对特气间进行风险辨识，并据此编制具有针对性和可操作性的安全管理制度、设备操作规程等。特气间工作人员需要经过专业的培训，了解特种气体的性质、危险性和安全操作规程，同时对工作人员进行定期的考核和管理，以提高其安全意识和操作技能，确保他们能够正确操作设备、处理事故和应对紧急情况。

2.3.2 现场安全管理

特气间通常安装有气体泄漏探测器、有毒气体探测器、可燃气体探测器及火灾报警器，以及设有安全警示标志标识和紧急处理设备等安全防范设施。应设置专人进行监管，监测气体储存和供应过程中的安全风险，定期进行安全巡查和维护，如检查气瓶和管路的完好性、泄漏情况、防范设施的有效性等，及时发现和处理安全隐患。

2.3.3 应急演练

建立简明、可操作的应急预案，建设应急处置队伍，并定期进行应急演练，检验应急预案的有效性，提高队伍的应急能力。

3 特种气体输送系统安全管理

3.1 第一道安全保障——本质安全设计

电子行业特种气体的输送流程通常为，将特气钢瓶装入气柜或气架中，并经过调压器和过滤器进行首次调压和颗粒净化，再经气柜柜输送管线进入车间内的气体分配箱（VMB），或经气架输送管线进入气体分配盘（VMP），经 VMB/VMP 再次调压后进入车间相应的工艺设备。

3.1.1 气瓶和储罐

特种气体输送系统的起点是气瓶或储罐。气瓶和

储罐应符合相应的标准和规范，以保证气瓶和储罐的安全性和稳定性。我国特种气体系统规范和美国消防协会标准都有规定：不相容气体瓶不应放置于同一气瓶柜或气瓶架中。

3.1.2 气瓶柜和气架

柜体外壳钢板厚度一般不小于 2.5mm，并设有防腐蚀涂层；柜门具备自动关闭功能，并配防爆玻璃观察窗；气瓶柜、气瓶架设有清晰明确的安全标志标识；柜门关闭时，内保持不低于 100 帕负压，且排风换气次数不得低于 30 次/h。对于具有自燃、易燃、毒性、腐蚀性的气瓶柜，在排风出口设置固定式气体泄漏侦测仪，并设有过流开关和惰性气体吹扫及辅助抽真空装置，对于易燃性特种气体的气瓶柜设置水喷淋系统。

3.1.3 管道系统

特气的输送管道是由具备专门气体管路焊接资质的人员焊接的，管道焊接安装完成后，需经过专业的技术人员进行保压、氦检、颗粒测试、水分测试、氧份测试 5 项测试。对于输送腐蚀性气体的管道还要进行钝化操作。特气输送管道的材质和接头形式也特定要求，目前特种气体多使 SUS316L EP 级不锈钢管，接头形式为金属面密封接头（VCR）方式。管件的安装原则是应尽可能减少管件的长度、接头和发件的数量，由于施工不当容易造成阀件或接头处气体泄漏。对于剧毒特气需使用双套管的形式来输送，内管与外套管之间进行抽真空操作，并安装负压表实时监控其真空度，检测管道泄漏情况，及时发现问题并采取措，避免泄漏事故的发生。内管采用 EP 级不锈钢管，外套管可采用 BA 级不锈钢管。对于惰性气体也一般采用 BA 级不锈钢管。输送特气后的设备及管道在使用一段时间后，也仍需要进行正压保压测试，确保输送管道的安全。

3.1.4 气体分配设备

当多台工艺设备均使用某一种特种气体时，行业内使用 VMB（阀门分配箱）或者 VMP（阀门分配盘）将集中供气气源通过多条支路上的阀门等装置分流到各个工艺设备供其使用特气。每个支路配有专门的关断阀门和调压阀，根据工艺设备的压力需要，进行二次调压后输送到工艺设备中，同样出于泄漏风险和安全的考虑，也配有抽风装置和侦测器。

3.1.5 安全侦测设备

气瓶柜和分配设备内都配置气体侦测器，即使钢瓶或接头有少量泄漏，通过侦测系统能及时的侦测到泄漏的气体，并关断输送气动阀。且配有自动的吹扫

程序,关闭钢瓶阀门后在换瓶过程中,执行自动吹扫程序,吹扫完成后进行钢瓶的拆卸作业,极大减少了人为操作带来的风险。

3.1.6 吹扫与尾气处理

气瓶更换或工艺设备检维修前后需要进行吹扫,避免可燃性气体或腐蚀性气体直接排放造成环境污染和人身伤。吹扫出来的废气应当进行适当的处理,以减少对环境和人体的污染和危害。常见的废气处理方法包括干式吸附、湿式洗涤、加热分解、燃烧等离子分解、稀释及以上几种处理方式的组合。需要注意的是,在特种气体排气和尾气处理过程中,需要根据具体的特种气体和排放标准,选择合适的处理方法和设备,确保处理效果符合要求,并保障环境和人员的安全。同时,对于可能产生的特种气体泄漏和爆炸等意外情况,也需要有相应的应急预案和处理措施。

3.2 第二道安全保障——运行管理安全

在实际工程应用中,本质安全和运行管理安全是相互作用、相辅相成的。本质安全可以为运行管理安全提供基础,即系统本身的安全性能可以降低运行管理所需的安全措施和安全成本。而运行管理安全则可以在系统运行过程中发现和解决本质安全缺陷,提高系统的安全性能。只有在两者结合的基础上,才能更有效地保障系统的安全性能。运行管理安全通常通过制定和执行安全管理措施来保证系统在运行过程中的安全性能,包括制定安全规章制度、安全操作规程、安全培训等,以确保人员、设备、工艺等因素的安全可控。对于特气输送系统安全管理的要点如下:日常操作如换瓶、维护等需遵循“四眼原则”,即双人作业,其中一人动手操作系统,另一人在边上观察记录操作程序,判定操作正确与否,通过监督以确保每一步操作遵照的操作程序步骤进行。操作人员需具备一定能力,一般须经培训考核后方可上岗,其他人员不得进行操作。操作人员需穿戴合适的个人劳动防护用品,并着重检查应急求援设备是否齐全。严格遵守操作规程和操作规程,排风和尾气处理装置异常是,不得进行换瓶或维护作业。加强日常巡检和报警管理,如发生泄漏报警等,立即进入应急响应状态,及时处置,降低损失和危害。

3.3 第三道安全保障——特种气体生命安全系统

特种气体存储与输送系统一般配置特种气体的连续检测、指示、报警的功能的生命安全系统,并能记录、存储和打印,对气体设备状态进行实时监测。在气体气瓶柜、分配设备、工艺设备的排风管口处、生

产工艺设备的特种气体的废气处理装置排风出口处气体侦测器,实时监控气体设备有无存在气体泄漏状况。特气中的惰性气体无需对应的气体侦测器进行监控,只监测所在环境氧浓度;使用多种特气时需配置多种对应的气体侦测器。易燃性、自燃性特种气体探测系统、有毒气体检测装置应设置一级报警和二级报警两个级别,一般对应黄色和红色声光警报,气体泄漏量超过二级报警时,相关人员撤离该区域,直到泄漏警报解除。作为特气系统的第三重安全保障,生命安全系统也需要进行定期维护,确保报警能正常反馈。气体检测器应定期检验或到期更换,以免出现探测报警功能失效。

3.4 第四道安全保障——应急响应

应急响应计划是为了在特定的紧急情况下能够及时、有效地采取行动,以减轻和控制紧急情况所带来的损失和危害。在特种气体存储与输送系统中,存在气体泄漏、气体爆炸、火灾等潜在的危险和风险,一旦发生事故,往往会对周围环境和人员造成严重的危害。应急响应计划可以帮助特种气体存储与输送系统的管理者和操作人员在危险事件发生时,快速准确地做出反应,采取有效的措施进行处置和控制,以最大限度地降低事故的影响和危害。同时,应急响应计划还可以帮助管理者和操作人员更好地了解特种气体的危险性和应急处理方法,提高他们的应急处理技能和能力。因此,特种气体输送系统虽已有前述三重保障,但企业仍需制定特气泄漏等应急处置方案,组建应急处置队伍,配备相应的应急设备,并定期演练。一旦出现特气泄漏,应立即启动应急预案。应急响应结束后,还需对泄漏的特气输送设备和管道进行保压测试,确认泄漏源排除后方可恢复特气供应。

综上所述,特种气体存储与输送系统是涉及到重要的电子、化工、医疗、科研等领域的关键设施,安全管理是至关重要的。针对特种气体存储与输送系统的安全管理,需要建立科学完善的管理体系,从存储输送设备的设计、选型、维护和操作等多个方面入手,全面提高特种气体存储与输送系统的安全性。

参考文献:

- [1] GB 50646-2020. 特种气体系统工程技术标准(附条文说明)[S]. 中华人民共和国住房和城乡建设部国家市场监督管理总局,2020.

作者简介:

夏小丹(1985-),女,汉族,江西上饶人,中级工程师,硕士,研究方向:环保、安全和职业健康。