

# 有限空间作业的风险控制管理

李建青, 苟滨祥, 黄敏敏, 李超民, 姜朝, 李佑泉

(山东万达宝通轮胎有限公司, 山东 东营 257506)

**摘要:** 有限空间作业事故一直是容易被忽视但是频发的生产事故之一, 本文深刻总结并吸取近年来有限空间安全事故教训, 结合有限空间作业的特性, 从建立有限空间安全管理体系入手, 提升企业自上而下安全素养及管理理念, 同时分析有限空间前中后作业特点以及结合事故发生的特点和环节, 对全过程做出了相应的审批、监护及作业要求, 明确了发生事故时应急救援要求, 选取了科学有效的劳动防护用品, 对选用和配备做出了强制性要求, 弥补了有限空间作业过程中的最后一道短板, 从而有效降低了有限空间的发生率和事故率。

**关键词:** 有限空间; 安全管理体系; 审批监护; 防护用品

**中图分类号:** TQ330.8

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2024)10-0076-06

**DOI:** 10.13520/j.cnki.rpte.2024.10.016

有限空间在日常生产生活中较为常见, 作为日常工作的一部分, 有限空间事故也频发, 因为作业人员组成比较复杂, 文化程度普遍偏低, 安全素养不高, 事故的解决也成为了一项难题, 我国各级应急管理部门多次发文要求企业开展自我识别及自查自纠, 但事故仍时有发生, 成为安全生产的痼疾之一。

目前国内有限空间的管控还基本停留在政府部门发布指导性文件, 企业自主审查阶段, 还未在全员形成潜意识认知, 同时各企业高层及管理人员认知程度不够, 在日常管理当中未形成合理的管理体系, 管控方法单一, 现场管理混乱, 防护用品不合格, 应急措施不符合实际等等问题。

本文主要从企业全员建立起合理的安全管理体系, 从有限空间的危险源的限值出发, 模拟事故发生规律, 确定有限空间作业的审批流程和应急流程, 从而确定防护用品的使用类型、型号、数量, 应急救援物品的使用方式、数量、型号等, 从技术措施、安全管理、人员防护、应急救援各方面阐述有限空间的安全作业方式方法, 从而减少有限空间的人员伤亡事故。

## 1 有限空间的基本理论知识

### 1.1 有限空间的定义及基本特点

有限空间是指封闭或部分封闭、进出口受限但特殊情况下(如清淤或检修作业时)人员可以进入, 在设计之初未被定义为固定工作场所的空间。有限空间

内部极易积聚有毒有害、易燃易爆气体或因氧含量不足造成窒息事故。有限空间的入口大多比较狭小, 尺寸大约在 60~80 cm 左右, 人员出入极不方便, 但可以进入其中开展作业。有限空间内部功能基本做为物料储运、反应和材料输送使用, 其内的采光、照明、通风换气、人体工作间距、安全防护措施等均不健全, 不能满足人员作业条件, 日常与外界隔离, 呈封闭和半封闭状态。按照其功能和位置一般可划分为地上、地下和密闭设备, 玉米加工料仓、旋流塔等均为地上有限空间, 化粪池、污水井、炭黑地坑等均为地下有限空间, 常见的含人孔的压力容器、化工反应釜等基本归为密闭设备范畴。

### 1.2 有限空间作业的定义及主要风险

有限空间作业一般是指因清理或检修原因进入有限空间的作业。相关作业有压力容器内部焊接、炭黑地坑内部清扫、反应釜内部清洗作业等, 有限空间作业因空间的局限性常常伴有中毒、缺氧窒息、爆炸、高处坠落、触电、淹溺、物体打击、机械伤害、灼烫、坍塌、其他伤害等, 大多数为中毒、缺氧窒息和爆炸三种, 有限空间的中存在的有毒物质可分为内部和外部两种: 内部是空间原存储物质分解、挥发会反应造

**作者简介:** 李建青(1986-), 男, 国家注册安全工程师(中级), 主要从事轮胎企业安全生产管理工作, 山东万达宝通轮胎有限公司安全总监, 区安全生产专家。

**收稿日期:** 2023-08-14

成；外部是进行人员进入焊接、涂装等作业产生或相邻的设备管道泄露侵入产生。根据《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1—

2019）所提供的有毒气体浓度，超过浓度限值就可能存在中毒的风险，见表1。

表1 有限空间中中毒典型物质及其特性

物质名称	主要来源	危害特性	职业接触限值 /(mg·m <sup>-3</sup> ) ×10 <sup>-6</sup> (20℃)	
硫化氢	化粪池、污水井、发酵池等有机物发酵腐败场所	剧毒、低浓度时有明显臭鸡蛋气味、浓度增高时，人会产生嗅觉疲劳或嗅神经麻痹而闻不到臭味；浓度超过1000 mg/m <sup>3</sup> 时，数秒内即可致人闪电型死亡。	10	7
一氧化碳	破的不完全燃烧和焊接作业	俗称“煤气”，极易与血红蛋白结合，造成组织缺氧，从而引发中毒。	30	25
苯		苯是确认的人类致癌物，甲苯、二甲苯具有一定毒性。短时间内吸入较高浓度苯和二甲苯，会出现头晕、头痛、恶心、呕吐、胸闷、四肢无力、步态蹒跚和意识模糊，严重者出现烦躁、抽搐、昏迷症状。	10	3
甲苯	涂装、防腐等装饰材料作业		100	26
二甲苯			100	22
氰化氢	酱腌菜池	剧毒，短时间内吸入高浓度氰化氢气体可致立即呼吸停止而死亡。	1	0.8
磷化氢	污水井和使用磷化氢作为熏蒸剂的粮仓、料仓	剧毒，10 mg/m <sup>3</sup> 接触6 h，有中毒症状	0.3	0.2

氧气对于人类身体的重要性毋庸置疑，但需氧量对于人体来说并不是多多益善的概念，人类身体能够接受的氧含量在空间内的气体占比上下限应该在19.5%~23.5%，超于上限时的醉氧，低于下限时的缺氧，均会对人身安全造成影响。一般情况下，不进行纯氧置换或者氧气管道泄露时不会存在醉氧状况，有限空间内造成人体缺氧的典型物质一般为二氧化碳、甲烷、氮气、氩气等，见表2。

表2 不同氧气含量对人体的影响

氧气含量 (体积浓度)/%	对人体的影响
15~19.5	体力下降，难以从事重体力劳动，动作协调性降低，易引发冠心病、肺病等
12~14	呼吸加重，频率加快，脉搏加快，动作协调性进一步降低，判断能力下降
10~12	呼吸加重、加快，几乎丧失判断能力，嘴唇发紫
8~10	精神失常，昏迷，失去知觉，呕吐，脸色死灰
6~8	4~5 min 通过治疗可恢复，6 min 后 50% 致命，8 min 后 100% 致命
4~6	40 s 内昏迷、痉挛，呼吸减缓、死亡

有限空间因其自身构造造成了气体和粉尘浓度不易稀释，为混合爆炸性气体和爆炸性粉尘云的形成创造了先决条件，在温度与浓度相宜的情况下，伴随着任一点火源均都会发生燃爆。知悉爆炸性混合物限值后，就可采取相关措施防止爆炸事故的发生，有限空间内可燃气体浓度应保持在爆炸下限的10%以下，粉尘应在作业前全部清扫完毕方可进行其他作业，同时粉尘清扫作业应防止振动或过度挥扫，避免粉尘云的产生见表3。

## 2 有限空间的安全管理体系建设

在经过多次的实地勘查及事故案例研究后，发现有限空间的危险性主要发生在企业日常管理和作业过程中，为了解决有限空间事故的发生，需要完善有限空间管理体系建设。

表3 常见的可燃性粉尘特性

粉尘名称	高温表面堆积粉尘层(5 mm)的引燃温度/℃	粉尘云的引燃温度/℃	爆炸下限浓度/(g·m <sup>-3</sup> )	粉尘平均粒径/μm
炭黑	535	> 600	36~45	10~20
木质纤维	250	445	-	40~80
啤酒麦芽粉	285	405	-	100~500
煤焦炭粉	430	> 750	37~50	4~5
棉花	350	560	100	44

### 2.1 “关键少数”职责落实

主要负责人及相关人员要了解本企业的有限空间底数，特别是存在中毒风险的有限空间，熟悉本企业有限空间作业安全防范措施，组织制定并实施本企业有限空间作业管理制度，组织制定并实施本企业有限空间作业安全生产教育和培训计划，保证本企业有限

空间作业安全投入的有效实施，组织制定并实施本企业有限空间作业事故应急救援预案。

### 2.2 有限空间安全管理制度

有限空间安全管理制度确保有限空间作业规范性和有序性的基本保障。主要负责人及安全管理部门依据相关法律法规和指导文件同时结合现场实际开展制

度制定工作,制定应具备针对性和可操作性,全面涵盖人员培训、人员保险缴纳、资质和作业审批、操作方案和应急条件等方面的要求。

### 2.3 有限空间管理台账和安全警示标志

企业应依次排查本企业的有限空间,发动全员开展有限空间辨识,建立本企业独有的有限空间管理台账。在辨识出的有限空间出入口的醒目位置设置安全警示标志及安全风险告知牌,以提醒人员在实际工作中要提高警惕并采取相应防护措施,安全风险告知牌中的危险因素和管控措施要完善,同时注明相关责任人、联系人和联系方式,整体告知要符合实际,具有相关针对性。

### 2.4 有限空间安全培训

有限空间企业强化人员培训,提升人员安全防护意识是减少人员不安全行为,防范事故发生的重要手段,企业主要负责人应每年组织有限空间作业人员开展一次集中培训,人员较多时,可选取员工代表进行培训,培训完成后同步宣贯至每一位作业人员,每日开展晨会时将培训内容进行告知,对于不识字人员的培训可以留存相关视频进行留档备查,培训完成后对培训实效进行考评,确保相关人员均已具备有限空间作业安全风险、作业程序和防范措施等技能及知识。每次作业前应开展一次专项培训,所有作业人员、应急人员均应参加,同时将作业情况报至直接管理人员或主要负责人,培训内容应涵盖作业特性、人员分工、防护及应急器具使用、应急措施等。

### 2.5 有限空间物理隔离措施

物理隔离措施可以有效防止未经许可人员擅自进入有限空间,企业应在入口处设立牢固有效地隔离栏或隔离围挡,同时可在物理隔离处设立锁定装置及预警系统,记录进入有限空间的人员、人数及时间。

### 2.6 有限空间作业审批

有限空间企业可根据本企业有限空间特性,建立自身的有限空间作业审批表,审批表中要涵盖作业部门、作业人员、关联的特殊作业、危险因素检测时间及数值、作业前相应准备工作及措施、可能存在的危险因素和危害、同时经作业申请人、部门负责人、安全管理人员、批准人进行逐级审批,危害程度较高的地点须经生产负责人、设备负责人、安全负责人及公司领导集中会诊后方可进行施工作业,未经审批通过的严禁擅自作业。

### 2.7 现场条件确认和全程监护

现场各项安全措施의 落实和确认是杜绝违规违章行为的关键措施。在作业前,监护人员(作业负责人)应对实施作业的全体人员进行安全交底,并对通风、检测等风险管控措施逐项进行确认,全部落实到位后,方可许可作业,在作业过程中监护人员应在有限空间外全程持续监护,持续检测气体浓度并如实记录,同时监护人员在因特殊原因离场,必须要求作业人员暂停作业或安排替班人员全程监护,恢复作业前需重新对场所进行气体检测。

### 2.8 防护和应急装备配备与使用

有限空间企业应给所有参与作业人员配备相应的安全防护设备和应急救援装备。设备及装置应满足国家及行业要求且能够正常使用,气瓶、气体检测报警仪根据检验周期每年开展检验、检定或校准,相关人员应能够正确佩戴和使用安全防护用品和应急救援装备。

### 2.9 承包方安全管理

企业应加强对承包方(相关方)的有限空间作业管理,严禁以包代管,一包了之,在发包前应严格审查相关方的资质、人员、保险、证件、施工方案,开展风险告知,安全生产管理协议中应明确各自的安全生产职责,职责分工应覆盖常态下的有限空间作业安全和紧急情况下的应急处置,企业应对所有相关方的有限空间作业进行协调监督。

### 2.10 应急预案与演练

结合现场实际制定完善有限的应急预案并开展演练,是杜绝盲目施救避免伤亡扩大的有效手段。有限空间作业事故应急预案应依据《生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则》(GB/T 29639—2020)制定,预案应细化救援程序和救援人员防护,确保救援人员人身安全。预案制定完成后向所有作业人员进行告知培训,同时每年开展不低于2学时/人的再培训,落实培训效果考评,每年开展一次综合或专项应急预案,每半年开展一次现场处置方案,在演练过程中验证预案的可行性和有效性,有与现场相背离或不符的要及时进行修订。

## 3 有限空间作业的风险防控与事故应急救援

有限空间作业过程单纯而又复杂,单纯的是作业并不经常发生,完成即可长时间不开展或永久不再开

展,我们可以单纯的将作业过程分为作业前、作业中和作业后进行逐项分析,复杂的是在作业过程中会伴随着一系列不可预知的风险,需要多方人员时刻提高警惕,绷紧安全弦。

### 3.1 作业前准备阶段

作业前应对应作业环境进行安全风险辨识,分析存在的危险有害因素,提出消除、控制危害的措施,编制作业方案,并经本单位相关人员审核和批准。建立完善的有限空间作业方案,明确所有人员安全职责,确定作业现场负责人为总负责人,负责调度和指挥相关工作,确定监护人员的监护职责,作业人员在进入作业前进行全面培训,救援人员准备所有救援设施并执行紧急救援职责。监护人员可以由现场负责人兼任。应严格执行有限空间作业审批制度。对作业方案、人员、设备等方面进行审批,并签字确认,未经审批不得擅自开展有限空间作业。

作业现场负责人应对所有有限空间作业的相关人员进行风险告知,作业场所存在的危险因素、作业过程中关联的内容、作业过程中存在的风险,作业操作规程及作业过程中应急救援措施等,签字确认并在现场公告栏上张贴。检查各项设备设施的完好性和有效性,例如检测仪是否检测准确、安全帽是否在有效期内、救援设施是否架设牢固齐全,现场为爆炸性环境或可能存在易燃易爆物品时,通风设施是否有效,防爆等级及防爆类型是否契合,直达操作面,是否切断有毒有害来源等。设置围栏,防止非作业人员或车辆进入作业区域,在围栏上安装明显的安全警示标识,同时在围栏入口设置安全告知牌,告知牌登记协议、人员、操作规程、应急处置等相关信息,施工过程中有占道影响交通或者交叉断路作业的,在路口处安装指示牌及警示灯,人员穿戴配备反光条的服装,确保人员安全。

进出口打开前需经参照工艺及物质特性,同时经现场负责人确认,方可开启,有爆炸性危险或易燃物质的区域进出口开启需采用专用工具。作业过程中可能存在易燃易爆物质或有毒有害物质侵入作业空间的,需采取封堵、隔离和切断等措施,同时在切断处悬挂警示牌,警示牌摘除原则为“谁悬挂谁摘除”,其他人员一概不可移位或摘除,防止无关人员意外开启或移除隔离设施。同时对空间残留物质进行清除或置换,清除置换时切忌采用其他有毒、易燃物品进行溶解或反应,防止出现新的危险源,无法避免时需对剩余物

质测量,确定空间内无有毒有害或易燃易爆物品,且含氧量满足要求时方可进入。清除或置换完成后需对空间内气体进行检测,检测地点为作业空间的上中下或近中远三个方位,存在危险性的空间可采用泵吸式气体检测报警仪,作业单位不具备检测能力时需委托有能力单位进行开展,检测结果必须如实记录,气体浓度检测合格,方可作业。经检测,有限空间内气体浓度不合格的,必须采取强制通风措施进行置换。进行通风置换时需参照置换气体的质量在原物质排出口进行气体检测,置换气体比原物质重时,需在下方通气,在上方出口检测,置换气体比原物质轻时,需在上方通气,在下方出口进行检测,直到检测结果合格为止。此时对作业人员佩戴齐全个体防护用品与安全防护设备情况进行再次检查,所有设施需根据作业环境选择,必备品一般安全帽、全身式安全带、安全绳、呼吸防护用品、便携式气体检测报警仪、照明灯和对讲机等。

### 3.2 作业实施阶段

在确认作业环境、作业程序、安全防护设备和个体防护用品等符合要求后,作业现场负责人方可许可作业人员进入场所作业,作业过程中,作业人应正确使用安全防护设备和个体防护用品,并与监护人员进行有效的信息沟通。作业前30 min内对空间进行气体检测,作业中间中断30 min需重新进行气体检测,作业过程中需持续对气体进行检测,可采用佩戴连续式气体检测仪或泵吸式连续气体检测仪,2 h记录一次检测数据,需作业过程中需持续进行通风。

监护人员在执行监护职能时,不可离开作业现场,落实紧急预警、防止外人进入作业区域以及防止外人开启切断装置等职责。作业期间,不论任何人发出预警信息均要停止作业,立即撤出作业地点,作业人员要时刻观察自身精神状态、防护设施的完好性以及其它风险情况。

### 3.3 作业结束阶段

作业完成后,作业负责人要对作业人员、监护人员以及应急人员的数量进行统计,同时对作业空间内人员撤离情况进行落实,确认无人后方可关闭进出口,落实工完料净场地清,逐步完成现场清理、工具撤离、设施功能恢复等工作。

### 3.4 应急救援阶段

一旦发生事故。作业现场负责人应立即向本单位报告事故情况,并利用作业前准备的救援器材组织现

场救援，同时确保救援人员人身安全，救援方式可实际情况采取非进入式或进入式救援，若自身无法救援情况下，逐级启动专项、综合应急预案。当有限空间内受困人员所处位置与有限空间进出口之间通畅、无障碍物阻挡时，救援人员将受困人员的全身式安全带通过安全绳索与有限空间外的挂点可靠连接，快速将受困人员转移至安全地点。

当受困人员未佩戴全身式安全带，也无安全绳与有限空间外部挂点连接，或因受困人员所处位置无法让救援人员在外部进行施救时，就需要救援人员进入有限空间内实施救援。实施进入式救援时，救援人员必须佩戴正压式空气呼吸器，全身式安全带、安全帽等个体防护用品，确保自身防护安全，严禁无防护开展进入式救援。若现场不具备自主救援条件时，应及时拨打 119 和 120，借助专业救援力量开展救援工作，决不允许强行施救。受困人员在脱离有限空间后，应迅速将人员转移至安全，空气新鲜处，进行正确、有效的现场救护，以挽救人员生命，减轻伤害。

#### 4 防护用品的基本配备、用途及注意事项

有限空间防护用品的首要原则就是在作业过程中隔绝或消除有毒物质、保证作业人员的氧含量，应急物资的要求为高效、合理、符合现场的实际情况。

##### 4.1 气体检测设备

便携式气体检测报警仪是有限空间作业过程中最为常见的仪器设备，按传感器数量划分，可分为单一式和复合式，按采样方式划分，可分为扩散式和泵吸式，可实现浓度实时监测及预警功能，便携式气体检测报警仪应按照周期每年检定或校准 1 次，量值准确方可使用，如产品说明书标明的检定或校准周期少于 1 年，应按其要求执行。常见的四合一检测仪检测参数及量程范围一般如下：①氧气：0~25%（体积分数）②可燃气（甲烷）：0~100%LEL ③硫化氢：0~50（100）ppm ④一氧化碳：0~500（1 000）ppm，在使用检测仪前首先要查看检测单位为  $\text{mg}/\text{m}^3$  还是 ppm，按照限制对照实际检测数据来判定是否安全。

##### 4.2 机械通风设备

机械通风是降低有限空间内有害气体浓度的有效技术手段，应在有限空间作业前和作业过程中进行机械通风，在有限空间空气浓度达到要求时方可作业，严禁纯氧通风，爆炸性环境应使用防爆电器，作业期

间必须采取加长风管的措施将洁净空气有效送至作业面，以保证空气浓度，若在内部介质与空气会混合产生爆炸性气体会造成危险时，可先在空间内充填惰性气体置换后再进行通风作业。

##### 4.3 呼吸防护用品

呼吸防护用品中具有滤毒盒及滤毒罐的均为过滤式呼吸防护用品，呼吸防护用品中具有呼吸面罩及自生氧或供氧功能的均为隔绝式呼吸防护用品，企业对两种防护用品可根据现场使用环境、使用时间、使用功能进行自行选择，过滤式呼吸防护用品类如防毒面具、防毒口罩，在氧含量合格且有毒气体浓度低于立即威胁生命健康浓度（IDLH）的情况下，根据有毒气体种类和浓度范围可以进行选择。其选用的滤毒盒或滤毒罐应与防护气体相匹配。但滤毒盒或滤毒罐容量有限，防护浓度和时间都有限制。考虑有限空间作业环境的高风险性和过滤式呼吸防护用品的局限性，一般不建议使用，例如自吸过滤式防毒面具不适用缺氧环境、水下作业、逃生和消防热区用呼吸防护用品，使用自吸过滤式呼吸防护用品作为受限空间防护使用，在有毒环境和本身缺氧的环境下会给作业人员和施救人员都会造成危险，见表 4。

表 4 过滤件的标色及防护

类型	颜色	用途
A 型	褐	防护苯、苯胺、四氯化碳、硝基苯、氯化苦等有机气体或蒸气
B 型	灰	防护氯化氟、氢氟酸、氯气等无机气体或蒸气
E 型	黄	防护二氧化硫和其他酸性气体或蒸气
K 型	绿	防护氨及氨的有机衍生物
CO 型	白	防护一氧化碳气体
Hg 型	红	防护汞蒸气
H <sub>2</sub> S 型	蓝	防护硫化氢气体

隔绝式呼吸防护用品主要有连续送风式长管呼吸器、正压式空气呼吸器和隔绝式紧急逃生呼吸器 3 类，连续送风式长管呼吸器可以保证长时间正压式送风，将有毒气体隔绝在呼吸器外部，可以采用电动送风或空压机送风，而自吸式长管呼吸器面罩内不能维持微正压，不能在有限空间作业中使用，见表 5。

##### 4.4 其他安全防护设备和应急救援装备

有限空间防护设备还包括安全带、安全绳、防坠器、通讯、照明等设备，安全绳和防坠器应固定在有限空间外可靠的挂点上，连接牢固。在易燃易爆环境，还应配备防静电服、防静电鞋，见表 6。

综上所述，想要控制有限空间的风险，就要在企业层面建立起完善的有限空间管理体系，采用科学有效的管控方法，严格落实作业审批制度，日常做好应

表 5 长管呼吸器分类及组成

长管呼吸器种类	系统组成主要部件及次序					供气气源
自吸式长管呼吸器	密合型面罩	导气管	低压长管	低阻过滤器		大气
连续送风式长管呼吸器		导气管 + 流量阀	低压长管	过滤器	风机	大气
高压送风式长管呼吸器	面罩	导气管 + 供气阀	中压长管	高压减压器	空压机	高压气源
所处环境	工作现场环境					工作保障环境

表 6 有限空间作业防护用品基本配置

防护用品	用途	配置要求
安全帽	头部防护	每名作业者应配置 1 个
安全带	坠落防护	每名作业者应配置 1 条
安全绳	应急救援	作业者活动区域与有限空间出入口间无障碍物的，每名作业者应配置 1 条
防坠器	坠落防护	每个进出口处宜配置 1 个，进出有限空间过程中宜选择防坠器配合安全带使用

急救援演练工作，掌握应急救援技能，同时采用科学 故的发生。  
有效的防护、应急物品，即可有效地解决有限空间事

## Risk control management for confined space operations

Li Jianqing, Gou Binxiang, Huang Minmin, Li Chaomin, Jiang Chao, Li Youquan  
(Shandong Wanda Baotong Tire Co. LTD., Dongying 257506, Shandong, China)

**Abstract:** Accidents in confined space operations have always been one of the easily overlooked but frequent production accidents. This article deeply summarizes and draws lessons from limited space safety accidents in recent years, combined with the characteristics of limited space operations: starting from establishing a limited space safety management system, improving the safety literacy and management concept of enterprises from top to bottom; Simultaneously analyzing the characteristics of the front, middle, and back operations in confined spaces, and combining them with the characteristics and stages of accidents, corresponding approval, supervision, and operation requirements were made for the entire process; Clarified the emergency rescue requirements in case of accidents and selected scientifically effective labor protection equipment; Mandatory requirements have been made for selection and equipment, filling the last gap in the process of confined space operations and effectively reducing the accident rate in confined spaces.

**Key words:** confined space; safety management system; approval guardianship; protective equipment

(R-03)

