

受限空间 安全作业与管理

主 编 ©马卫国

新编特种作业人员安全技术培训考核统编教材



中国劳动社会保障出版社

新编特种作业人员安全技术培训考核统编教材

受限空间安全 作业与管理

主 编 马卫国

编写人员 付 艳 姚广明 徐院锋

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

受限空间安全作业与管理/马卫国主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2014

新编特种作业人员安全技术培训考核统编教材

ISBN 978-7-5167-1483-6

I. ①受… II. ①马… III. ①安全生产-生产管理-技术培训-教材
IV. ①X92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 007165 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

*

北京金明盛印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

880 毫米×1230 毫米 32 开本 9.375 印张 264 千字

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定价: 28.00 元

读者服务部电话: (010) 64929211/64921644/84643933

发行部电话: (010) 64961894

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

如有印装差错, 请与本社联系调换: (010) 80497374

我社将与版权执法机关配合, 大力打击盗印、销售和使用盗版图书活动, 敬请广大读者协助举报, 经查实将给予举报者奖励。

举报电话: (010) 64954652

内 容 简 介

受限空间作业涉及行业领域广泛，作业危险性较大。作业人员应具备相应的专业技术水平和较强的实际操作经验，并经培训考核合格方准上岗作业。本书重点讲述了受限空间基本知识、受限空间危险有害因素辨识及风险控制、受限空间作业安全管理、受限空间作业过程安全管控、受限空间作业防护用品及器具的选用和维护、事故应急救援等内容。

本书结合生产实际需求编写，可作为各类企业受限空间特种作业人员的培训考核教材，也可作为相关安全管理人员及技术人员的工作参考用书。

目 录

第一章 受限空间基本知识	/1
第一节 受限空间安全基本情况	/1
第二节 受限空间的基本概念	/5
第二章 受限空间内危险有害因素的辨识及风险控制	/16
第一节 受限空间内常见危险有害因素的种类、主要来源及影响	/16
第二节 受限空间内主要危险有害因素的辨识与评估	/27
第三节 风险控制原则及措施	/31
第三章 受限空间作业安全管理	/37
第一节 受限空间作业安全管理体系的要求	/37
第二节 作业单位及相关人员安全职责	/39
第三节 受限空间作业分级管理	/41
第四章 受限空间作业过程安全管控	/46
第一节 受限空间作业的操作程序及要点	/46
第二节 典型行业受限空间作业安全管控要点	/63
第三节 受限空间事故案例分析	/76
第五章 受限空间防护用品及器具的选用和维护	/97
第一节 气体检测设备的选用和维护	/97
第二节 呼吸防护用品的选用和维护	/107
第三节 防坠落用具的选用和维护	/128
第四节 其他防护用品的选用和维护	/139

第五节 安全器具的选用和维护	/145
第六章 事故应急救援	/153
第一节 应急救援基本常识	/153
第二节 应急预案编制	/162
第三节 应急救援演练	/171
第四节 现场急救	/182
附录	/200
附录 1 受限空间相关法规与标准	/200
附录 2 常见易燃易爆物质爆炸极限	/272
附录 3 工作场所有害因素职业接触限值	/274
附录 4 习题答案	/291
参考文献	/294

第一章 受限空间基本知识

第一节 受限空间安全基本情况

一、近几年全国受限空间安全形势

受限空间涉及的行业领域非常广泛，如煤矿、非煤矿山、化工、炼油、冶金、建筑、电力、造纸、造船、建材、食品加工、餐饮、市政工程、城市燃气、污水处理、特种设备等。受限空间作业是具有一定专业技术水平和严谨工作程序的危险作业，从事该作业的人员应具备一定的专业水平和较强的实际操作经验，并应在检测仪器、个人防护用品等设备的正确使用和事故应急救援措施等方面进行严格培训。

受限空间作业危险较大，易发生事故。据不完全统计，近年来受限空间作业安全事故主要发生在石油化工、建筑施工、污水处理、食品及酿酒业、冶金钢铁、船舶 6 个行业，其中比例最高的是石油化工行业，占 61.5%；其他依次为建筑施工占 15.6%，污水处理占 8.2%，食品及酿酒业占 4.1%，冶金钢铁占 4.1%，船舶占 2.5%；其他行业总计只占 4.1%。在受限空间作业事故中，因中毒、窒息事故导致的死亡人数每年平均 300 多人，平均每起事故造成 4 人死亡。按照事故等级划分标准，造成 3 人以上死亡的安全生产事故已属于较大事故，受限空间作业的危险性由此可见一斑。

国家疾病预防控制中心的统计资料显示，近 10 年来全国共报告各类急性职业中毒 14 089 例，死亡 1 605 例，以一氧化碳和硫化氢为主的窒息性气体中毒尤为突出，其中一氧化碳中毒 3 952 例、死亡 585 例，硫化氢中毒 1 266 例、死亡 466 例，两者占总中毒例数的 37.04%，占总死亡例数的 65.48%，而其中 50% 以上的重大职业中毒

事件都发生在受限空间作业场所内。

二、受限空间有关安全的基本概念

1. 受限空间涉及的术语

(1) 立即威胁生命和健康浓度 (Immediately Dangerous to Life or Health Concentration)。有害环境中空气污染物浓度达到某种危险水平，如可致命，或可永久损害健康，或可使人立即丧失逃生能力。

部分化学品的 IDLH 浓度见表 1—1。

表 1—1 部分化学品的 IDLH 浓度

化学 物质	IDLH 值 ^① / (10 ⁻⁶)	1ppm 换算 mg/m ³ 系 数 ^② (20℃)	IDLH 值 ^③ / (mg/m ³) (20℃)	化学 物质	IDLH 值 ^① / (10 ⁻⁶)	1ppm 换算 mg/m ³ 系 数 ^② (20℃)	IDLH 值 ^③ / (mg/m ³) (20℃)
乙酸	1 000	2.50	2 500	二硫化碳	1 000	3.16	1 600
丙酮	20 000	2.42	48 000	一氧化碳	20 000	1.16	1 700
氨	500	0.71	360	四氯化碳	500	6.39	1 900
苯	3 000	3.25	9 800	氯	3 000	2.95	88
甲苯	2 000	3.83	7 700	液化石油气	19 000	1.80	34 000
二甲苯	1 000	4.41	4 400	一氧化氮	1 000	1.25	120
氯化氢	100	1.52	150	二氧化氮	100	1.91	96
氰化氢	50	1.12	56	甲醛	50	1.23	37
硫化氢	300	1.42	430	正己烷	300	3.58	18 000
二氧化碳	50 000	1.83	92 000	溴化氢	50 000	3.36	170
二氧化硫	100	2.66	270	异丙醇	100	2.50	30 000

注：① NIOSH DHHS 出版物 No. 90—117 提供气态、液态有害物 IDLH 浓度的单位为 ppm。

② NIOSH DHHS 出版物 No. 90—117 提供气态、液态有害物 ppm 浓度单位换算为 20℃、1 个大气压下 mg/g³ 的换算系数。

③ 换算后以 mg/g³ 为单位的 IDLH 浓度。

(2) 职业接触限值 (Occupational Exposure Limits, OELs)。职业性有害因素的接触限制量值指劳动者在职业活动过程中长期反复接触，但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。化学有害因素的职业接触限值包括时间加权平均容许浓度、短时间接触

容许浓度和最高容许浓度三类。

①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。

②短时间接触容许浓度 (Permissible Concentration-Short Term Exposure Limit, PC-STEL)。在遵守 PC-TWA 前提下容许短时间 (15 min) 接触的浓度。

③最高容许浓度 (Maximum Allowable Concentration, MAC)。在工作地点, 在一个工作日内的任何时间有毒化学物质均不应超过的浓度。

工作场所空气中化学物质容许浓度见表 1—2。

表 1—2 工作场所空气中化学物质容许浓度

中文名	英文名	化学文摘号 (CAS No.)	OELs/(mg/m ³)			备注
			MAC	PC-TWA	PC-STEL	
氨	Ammonia	7664-41-7	—	20	30	—
臭氧	Ozone	10028-15-6	0.3	—	—	—
二氧化氮	Nitrogen dioxide	10102-44-0	—	5	10	—
二氧化硫	Sulfur dioxide	7446-09-5	—	5	10	—
二氧化碳	Carbon dioxide	124-38-9	—	9 000	18 000	—
甲苯	Toluene	108-88-3	—	50	100	皮
甲醇	Methanol	67-56-1	—	25	50	皮
甲酚 (全部异构体)	Cresol (all isomers)	1319-77-3; 95-48-7; 108-39-4; 106-44-5	—	10	—	皮
甲醛	Formaldehyde	50-00-0	0.5	—	—	敏, G1
硫化氢	Hydrogen sulfide	7783-06-4	10	—	—	—
一氧化碳	Carbon monoxide	630-08-0		20	30	
二甲苯 (全部异构体)	Xylene (all isomers)	1330-20-7; 95-47-6; 108-38-3	—	50	100	—

(3) 爆炸极限 (Explosion Limit)。可燃物质 (可燃气体、蒸气、粉尘或纤维) 与空气 (氧气或氧化剂) 均匀混合形成爆炸性混合物,

其浓度达到一定的范围时，遇到明火或一定的引爆能量立即发生爆炸，这个浓度范围称为爆炸极限（或爆炸浓度极限）。形成爆炸性混合物的最低浓度称为爆炸浓度下限，最高浓度称为爆炸浓度上限，爆炸浓度的上限、下限之间称为爆炸浓度范围。

(4) 进入 (Entry)。人体通过一个入口进入受限空间，包括在该空间中工作或身体的任何一部分通过入口。

(5) 隔离 (Isolation)。通过封闭、截断等措施，完全阻止有害物质和能源（水、电、气）进入受限空间。

(6) 有害环境 (Hazardous Atmosphere)。在职业活动中可能造成死亡、失去知觉、丧失逃生及自救能力、伤害或引起急性中毒的环境，包括以下一种或几种情形：

①可燃气体的浓度超过爆炸下限的 10%。

②空气中爆炸性粉尘浓度达到或超过爆炸下限的 30%。

③空气中氧含量低于 19.5% 或超过 23.5%。

④空气中有害物质的浓度超过工作场所有害因素的职业接触限值 (GBZ2)。

⑤其他任何含有有害物的浓度超过立即威胁生命和健康浓度 (IDIH) 的环境条件。

(7) 缺氧环境 (Oxygen Deficient Atmosphere)。空气中氧的体积百分比低于 19.5%。

(8) 富氧环境 (Oxygen Enriched Atmosphere)。空气中氧的体积百分比高于 23.5%。

(9) 紧急情况 (Emergency)。由于任何内外原因，对核准进入受限空间的劳动者的健康或生命有可能产生危险的情形，包括控制或监测设备发生故障。

(10) 监护者 (Attendant)。进入受限空间内作业时，在受限空间外面负责安全监护的人员。其职责是：应接受受限空间作业安全生产培训；全过程掌握作业者作业期间的情况，保证在受限空间外持续监护，能够与作业者进行有效的操作作业、报警、撤离等信息沟通；在紧急情况时向作业者发出撤离警告，必要时立即呼叫应急救援服务，并在受限空间外实施应急救援工作；防止未经授权的人员进入。

(11) 作业负责人 (Entry Supervisor)。由用人单位确定的负责组织实施受限空间作业的管理人员。其职责是：应了解整个作业过程中存在的危险、危害因素；确认作业环境、作业程序、防护设施、作业人员符合要求后，授权批准作业；及时掌握作业过程中可能发生的条件变化，当受限空间作业条件不符合安全要求时，终止作业。

2. 缩略语

(1) IDLH：立即威胁生命和健康浓度。

(2) PPE：个人防护用品。

(3) LEL：爆炸下限。

(4) UEL：爆炸上限。

(5) SCBA：携气式呼吸防护用品。

(6) MSDS：化学物质安全数据清单。

(7) PC-TWA：时间加权平均容许浓度。

(8) PC-STEL：短时间接触容许浓度。

(9) MAC：最高容许浓度。

第二节 受限空间的基本概念

一、受限空间的定义、特点和分类

1. 受限空间的定义

受限空间是指工厂的各种设备内部（炉、塔釜、罐、仓、池、槽车、管道、烟道等）和城市（包括工厂）的隧道、下水道、沟、坑、井、池、涵洞、阀门间、污水处理设施等封闭、半封闭的设施及场所（船舱、地下隐蔽工程、密闭容器、长期不用的设施或通风不畅的场所等），以及农村储存红薯、土豆、各种蔬菜的井、窖等。另外，通风不良的矿井也应视为受限空间。

总之，一切通风不良、容易造成有毒有害气体积聚和缺氧的设备、设施和场所都叫受限空间（作业受到限制的空间），在受限空间内的作

业都称为受限空间作业。

2. 受限空间的特点

有些受限空间可能产生或存在硫化氢、一氧化碳或其他有毒有害、易燃易爆气体，并存在缺氧危险，在其中进行作业如果防范措施不到位，就有可能发生中毒、窒息、火灾、爆炸等事故。另外，大部分受限空间作业面狭窄、作业环境复杂，还容易发生触电、机械损伤等事故。具体可归纳为以下三个方面：

(1) 作业环境情况复杂。

①受限空间狭小，通风不畅，不利于气体扩散。

②设备内的危险化学品未处理干净或与设备相连的管道未进行有效隔离（必须拆卸一段管道或打盲板），都会造成有毒有害或易燃易爆气体超标，引发中毒或火灾、爆炸事故。

③生产、储存、使用危险化学品或因生化反应（污水处理设施）等产生的有毒有害气体，其容易积聚，一段时间后，便会形成较高浓度的有毒有害气体。

④有些有毒有害气体是无味的，易使作业人员放松警惕，引发中毒、窒息事故。

⑤有些有毒气体在浓度高时对神经有麻痹作用（如硫化氢），反而不能被嗅到。

⑥受限空间内的照明、通信不畅，给正常作业和应急救援带来困难。

⑦设备内搅拌设备的电源若没有有效切断并挂牌，以致搅拌意外启动，造成作业人员伤亡。

(2) 危险性大，一旦发生事故往往造成严重后果。

①作业人员中毒、窒息发生在瞬间，有的有毒气体令人中毒后数分钟，甚至数秒钟就会致人死亡。

②易燃易爆气体达到爆炸极限，燃爆造成群死群伤的后果。

③搅拌意外启动，造成设备内的作业人员死亡。

(3) 容易因盲目施救造成伤亡扩大。

一家知名跨国化工公司曾做过统计，受限空间作业事故中的死亡人员有 50% 是救援人员，因为施救不当造成的伤亡扩大。其原因主要是部分受限空间内的作业人员由于安全意识差、安全知识不足，没有

严格执行受限空间安全作业制度，安全措施和监护措施不到位、不落实；实施受限空间作业前未做危害辨识，未制定有针对性的应急处置预案，缺少必要的安全设施和应急救援器材、装备；或是虽然制定了应急预案但未进行培训和演练，作业和监护人员缺乏基本的应急常识和自救、互救能力，导致在事故状态下不能实施科学、有效的救援，致使伤亡进一步扩大。

3. 受限空间的分类

受限空间主要分为密闭设备、地上受限空间和地下受限空间三类。

(1) 密闭设备。如船舱、储罐、车载槽罐、反应塔（釜）、冷藏箱、压力容器、管道、烟道、锅炉等，如图 1—1、图 1—2、图 1—3 所示。

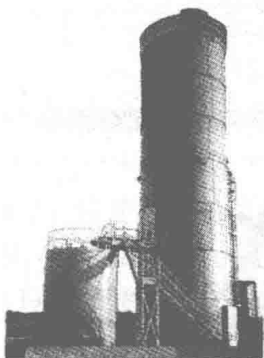


图 1—1 化学品储罐

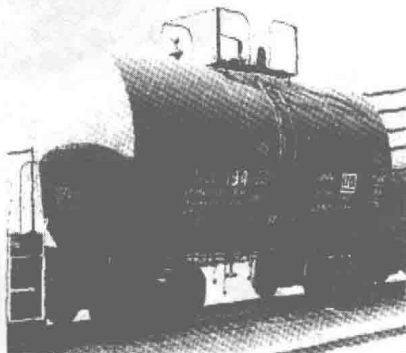


图 1—2 车载槽罐

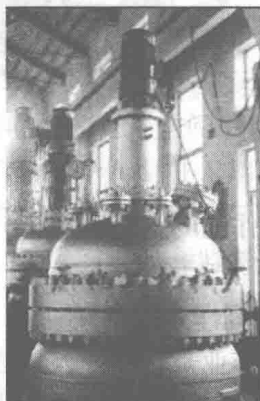
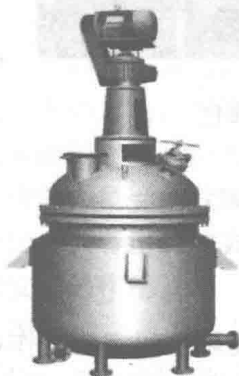


图 1—3 反应釜

(2) 地下受限空间。如地下管道、地下室、地下仓库、地下工程、暗沟、隧道、涵洞、地坑、废井、地窖、污水池（井）、沼气池、化粪池、下水道等，如图 1—4 所示。

(3) 地上受限空间。如储藏室、酒糟池、发酵池、垃圾站、温室、冷库、粮仓、料仓等，如图 1—5 所示。



图 1—4 化粪池

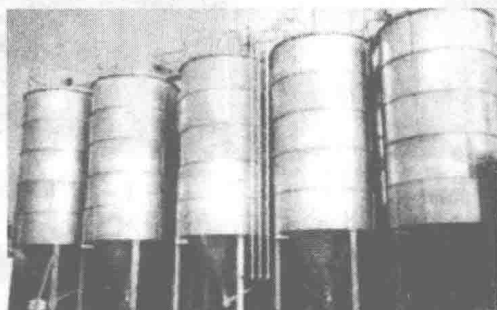


图 1—5 筒仓

二、受限空间作业的定义、特点

1. 受限空间作业的定义

受限空间作业是指作业人员进入受限空间实施的作业活动。在污水井、排水管道、集水井、电缆井、地窖、沼气池、化粪池、酒糟池、

发酵池等可能存在中毒、窒息、爆炸风险的受限空间内从事施工或者维修、排障、保养、清理等的作业统称为受限空间作业，如图 1—6 所示。

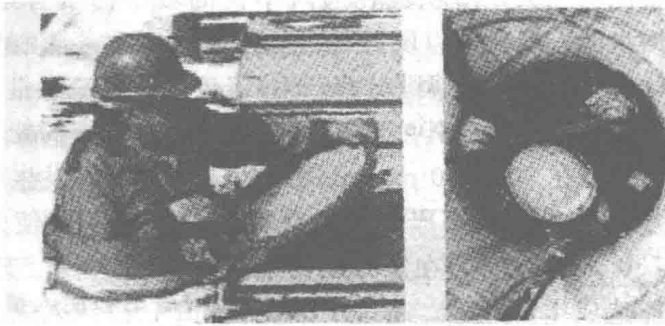


图 1—6 作业人员进入受限空间作业

2. 受限空间作业存在的风险分类

按照国家标准 GB/T 13861—2009《生产过程危险和有害因素分类与代码》，将受限空间作业过程中存在的危险、有害因素分为四大类：人的因素、物的因素、环境因素、管理因素。

(1) 人的因素

①作业人员的因素。作业人员不了解在进入期间可能面临的危害；不了解未隔离危害；未查证已隔离的程序；不了解危害暴露的形式、征兆和后果；不了解防护装备的使用和限制，如测试、监督、通风、通信、照明、坠落、障碍物，以及进入方法和救援装备；不清楚监护人用来提醒撤离时的沟通方法；不清楚当发现有暴露危险的征兆或现象时，提醒监护人的方法；不清楚何时撤离受限空间，以致事故发生。

②监护人员的因素。监护人不了解作业人员进入期间可能面临的危害；不了解作业人员受到危害影响时的行为表现；不清楚召唤救援和急救部门帮助进入者撤离的方法，以致不能起到监督空间内外活动和保护进入者安全的作用。

(2) 物的因素

①有毒气体。受限空间内可能会存在很多的有毒气体，既可能是在受限空间内已经存在的，也可能是在工作过程中产生的。聚积于受

限空间的常见有害气体有硫化氢、一氧化碳等，这些都对作业人员构成中毒威胁。

硫化氢 (H_2S) 是无色气体，有特殊的臭味（臭鸡蛋味），易溶于水；比重比空气大，易积聚在通风不良的城市污水管道、窖井、化粪池、污水池、纸浆池以及其他各类发酵池和蔬菜腌制池等低洼处（含氮化合物如蛋白质腐败分解产生）。硫化氢属窒息性气体，是一种强烈的神经毒物。当其浓度在 0.4 mg/m^3 时，人们能明显嗅到硫化氢的臭味；在 $70 \sim 150 \text{ mg/m}^3$ 时，吸入数分钟即发生嗅觉疲劳而闻不到臭味，浓度越高产生嗅觉疲劳越快，越容易使人丧失警惕；超过 760 mg/m^3 时，在短时间内即可发生肺水肿、支气管炎、肺炎，可能造成生命危险；超过 1000 mg/m^3 ，可致人发生电击样死亡。

一氧化碳 (CO) 是无色无臭气体，微溶于水，溶于乙醇、苯等多数有机溶剂；属于易燃易爆的有毒气体，与空气混合能形成爆炸性混合物，遇明火、高热能引起燃烧爆炸。一氧化碳在血中易与血红蛋白结合（相对于氧气）而造成组织缺氧。轻度中毒者出现头痛、头晕、耳鸣、心悸、恶心、呕吐、无力，血液碳氧血红蛋白浓度可高于 10% ；中度中毒者除上述症状外，还有皮肤黏膜呈樱红色、脉搏快、烦躁、步态不稳、浅至中度昏迷，血液碳氧血红蛋白浓度可高于 30% ；重度患者可出现深度昏迷、瞳孔缩小、肌张力增强、频繁抽搐、大小便失禁、休克、肺水肿、严重心肌损害等。

②氧气不足。受限空间内的氧气不足是经常遇到的情况。氧气不足的原因有很多，如被密度大的气体（如二氧化碳）挤占、燃烧、氧化（如生锈）、微生物行为、吸收和吸附（如潮湿的活性炭）、工作行为（如使用溶剂、涂料、清洁剂或者是加热工作）等都可能影响氧气含量。当作业人员进入后，可由于缺氧而窒息。

③可燃气体。在受限空间中常见的可燃气体包括甲烷、天然气、氢气、挥发性有机化合物等。这些可燃气体和蒸气来自于地下管道间的泄漏（电缆管道和城市煤气管道间）、容器内部的残存、细菌分解、工作产物（在其内进行涂漆、喷漆、使用易燃易爆溶剂）等，如遇引

火源,就可能导致火灾甚至爆炸。在受限空间中的引火源包括产生热量的工作活动,焊接、切割等作业,打火工具,光源,电动工具、仪器,甚至静电。

(3) 环境因素

过冷、过热、潮湿的受限空间有可能对作业人员造成危害;在受限空间工作的时间过长,会由于受冻、受热、受潮致使体力不支。

在具有湿滑表面的受限空间作业,有导致作业人员摔伤、磕碰等的危险。在进行人工挖孔桩作业的现场,有坍塌、坠落造成击伤、埋压的危险。在清洗大型水池、储水箱、输水管(渠)的作业现场,有导致作业人员淹溺的危险。在作业现场若电气防护装置失效或错误操作、电气线路短路、超负荷运行、雷击等都有可能发生电流对人体的伤害,从而造成伤亡事故的危险。

(4) 管理因素

安全管理制度的缺失、有关施工(管理)部门没有编制专项施工(作业)方案、没有应急救援预案或未制定相应的安全措施、缺乏岗前培训及进入受限空间作业人员的防护装备与设施得不到维护和维修,是造成该类事故发生的重要原因。另外,因未制定受限空间作业的操作规程,操作人员无章可循而盲目作业,操作人员在未明了作业情况下贸然进入受限空间作业场所、误操作生产设备,作业人员未配置必要的安全防护与救护装备等,都有可能导致事故的发生。

3. 典型受限空间作业的危害因素

典型受限空间作业的危害因素见表 1—3。

表 1—3 典型受限空间作业危害因素举例

种类	受限空间名称	主要危险有害因素
密闭设备	船舱、储罐、车载槽罐、反应塔(釜)、压力容器	缺氧,一氧化碳(CO)中毒,挥发性有机溶剂中毒,爆炸
	冷藏箱、管道	缺氧
	烟道、锅炉	缺氧,一氧化碳(CO)中毒