

2014—2015年全国有限空间作业中毒与窒息事故分析及预防建议

周兴藩¹, 杨凤², 郭玲¹, 付朝晖¹, 唐仕川¹, 贾晓东²

摘要:

[目的] 分析2014—2015年全国有限空间作业中毒与窒息事故发生原因, 提出预防同类事故发生的建议。

[方法] 从国家安全生产监督管理局事故案例库收集2014—2015年有限空间作业较大以上中毒与窒息事故案例47起(含较大事故、重大事故和特别重大事故), 查阅事故案例报告, 同时通过文献及新闻检索完成对案例的补充。完成典型事故的企业调查, 分析事故发生的行业、作业地点及岗位, 事故类型及安全管理落实情况, 从作业管理流程、危害辨识、危害控制、事故应急救援等方面深入剖析事故发生的直接原因及所存在的问题。

[结果] 55.3%的事故发生在市政设施管理、化工制造、建筑和电热力供应行业。污水井(污水处理站)、反应池(罐)、基坑和涵洞等工作地点的清理淤积和检查维修等作业过程容易发生事故。事故主要源于硫化氢(53.2%)和一氧化碳(21.3%)等气体中毒, 以及甲烷(8.5%)和氮气(6.4%)等富集导致的缺氧窒息。事故单位的有限空间作业管理要求落实情况极差, 安全培训、通风换气、气体检测和个体防护用品佩戴率分别为12.8%、8.5%、6.4%和6.4%, 作业审批制度执行率为零。其中83.0%事故(39起)存在盲目施救情况, 导致事故伤亡人数从初始49人, 最后增加到188人, 危害扩大3.8倍。

[结论] 2014—2015年全国有限空间作业较大以上中毒与窒息事故主要源于硫化氢和一氧化碳等气体中毒, 盲目施救会导致伤亡扩大。为预防同类事故的发生, 企业应严格落实有限空间作业安全管理要求, 针对重点行业和重点人群开展教育培训以及应急救援培训, 杜绝盲目施救。同时, 政府部门应加强监督执法与科普宣传。

关键词: 有限空间; 中毒; 窒息; 硫化氢; 一氧化碳; 盲目施救

引用: 周兴藩, 杨凤, 郭玲, 等. 2014—2015年全国有限空间作业中毒与窒息事故分析及预防建议[J]. 环境与职业医学, 2018, 35(8): 735-740. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.17742

Analysis and preventive recommendation of national confined space accidents due to asphyxiation and poisoning from 2014 to 2015 ZHOU Xing-fan¹, YANG Feng², GUO Ling¹, FU Zhao-hui¹, TANG Shi-chuan¹, JIA Xiao-dong² (1.Beijing Key Laboratory of Occupational Health and Safety, Beijing Municipal Institute of Labor Protection, Beijing 100054, China; 2.Division of Health Risks Surveillance and Control, Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200036, China). Address correspondence to TANG Shi-chuan, E-mail: tsc3496@sina.com; JIA Xiao-dong, E-mail: jiaxiaodong@scdc.sh.cn · The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract:

[Objective] To analyze the causes of national asphyxiation and poisoning accidents in the confined space accident category from 2014 to 2015, and provide suitable suggestions to prevent similar accidents.

[Methods] Forty-seven accident reports (including large accidents, serious accidents, and especially serious accidents) were retrieved from the database of the State Administration of Work Safety. Supplemental information was collected through reviewing literature and media reports. Typical enterprises involved in the reported accidents were identified to conduct field survey, collect

· 作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[基金项目] 国家安监总局规划科技司委托项目和改革与发展经费资助项目(编号: H156); 上海市第四轮公共卫生三年行动计划重点学科建设计划环境卫生与劳动卫生学(编号: 15GWZK0201)

[作者简介] 并列第一作者。周兴藩(1986—), 男, 博士, 助理研究员; 研究方向: 职业健康; E-mail: zhouxingfancau@126.com; 杨凤(1984—), 女, 硕士, 主管医师; 研究方向: 职业病防治; E-mail: yangfeng@scdc.sh.cn

[通信作者] 唐仕川, E-mail: tsc3496@sina.com; 贾晓东, E-mail: jiaxiaodong@scdc.sh.cn

[作者单位] 1.北京市劳动保护科学研究所职业安全健康北京市重点实验室, 北京 100054; 2.上海市疾病预防控制中心健康危害因素监测与控制所, 上海 200036

information on industry, workplace, job position, type of accident, and implementation of safety management, and analyze the direct causes and problems of the accidents from the perspectives of operation management process, hazard identification, hazard control, and accident emergency rescue.

[Results] By industry, 55.3% accidents occurred in municipal facility management, chemical manufacturing, construction, and power and heat supply industries. By workplace and job position, most accidents occurred during cleaning up, desilting, and equipment overhaul in sewage wells (stations), reaction tanks, foundation pits, and culverts. By causes, the accidents were mainly caused by gas poisoning of hydrogen sulfide (53.2%) and carbon monoxide (21.3%), followed by asphyxiation due to the enrichment of methane (8.5%) and nitrogen (6.4%). The enterprises involved in the reported confined space accidents showed insufficient implementation of safety requirements or regulations; specifically, the rates of safety training, ventilation, gas detection, and wearing individual protective equipment were 12.8%, 8.5%, 6.4%, and 6.4%, respectively, and the rate of work approval system enforcement was zero. A large number of accidents (83.0%) were rescued blindly, which resulted in the casualties increased 3.8 times from 49 to 188.

[Conclusion] The national confined space accidents due to asphyxiation and poisoning from 2014 to 2015 are mainly caused by hydrogen sulfide and carbon monoxide, and blind rescue would enlarge casualties. In order to prevent the occurrence of similar accidents, enterprises should strictly implement the safety management requirements of limited space operations, carry out education training and emergency rescue training for key industries and key groups, and eliminate blind rescue. At the same time, relevant government departments should strengthen supervision on the enterprises and popularize scientific knowledge on the confined spaces activities.

Keywords: confined space; asphyxiation; poisoning; hydrogen sulfide; carbon monoxide; blind rescue

Citation: ZHOU Xing-fan, YANG Feng, Guo Ling, et al. Analysis and preventive recommendation of national confined space accidents due to asphyxiation and poisoning from 2014 to 2015[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2018, 35(8): 735-740. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.17742

有限空间(confined space),又称为受限空间、密闭空间,是指封闭或者部分封闭,出入口较为狭窄,自然通风不良,易造成有毒有害、易燃易爆物质积聚或含氧量不足,作业人员不能长时间在内工作的场所^[1-2]。近年来,我国有限空间作业安全事故频发,人员伤亡和财产损失重大,社会影响巨大。按照《生产安全事故报告和调查处理条例》(国务院493号令),生产安全事故划分为一般事故、较大事故、重大事故和特别重大事故四类。较大以上事故包含后三类,指一次死亡3人以上或重伤10人以上事故。2001年1月—2009年8月,我国共发生668起较大以上中毒与窒息事故,导致2699人死亡^[2]。2010年—2013年,我国工贸行业发生有限空间作业较大以上中毒与窒息事故67起,共死亡269人,分别占工贸行业事故总数和死亡人数的41%和40%^[2-3]。为此,国家相关部门颁布了《工贸企业有限空间作业安全管理与监督暂行规定》(国家安全生产监督管理总局令第59号)、《有限空间安全作业五条规定》(国家安全生产监督管理总局令第69号)等行政命令以及GB 8958—2006《缺氧危险作业安全规程》^[4]、GBZ/T 205—2007《密闭空间作业职业病危害防护规范》^[5]等标准规范,有效地减少了工贸行业有限空间作业事故。但由于有限空间涉及行

业广泛,作业形式多样,多种危害因素共存,救援难度大,作业风险高,事故仍然多发,形势依然严峻^[6]。

本研究受国家安全生产监督管理局委托,搜集2014年—2015年有限空间作业较大以上中毒与窒息事故,深入分析有限空间作业事故发生的原因及所存在的问题,为预防同类事故发生找到有效的切入点,以保障我国安全生产工作顺利进行。

1 材料与方法

1.1 资料来源

资料来源于国家安全生产监督管理局事故案例库2014—2015年全国有限空间作业较大以上事故调查及报告数据,共计59起,其中中毒与窒息事故47起,爆炸事故12起。针对中毒与窒息事故,继续查询各级安监局和卫计委网站、媒体报道和文献数据库等,补充案例资料信息。同时走访部分企业和事故调查机构,获知事故发生的详细情况。

1.2 调查内容

根据47起中毒与窒息事故的事故报告,主要调查分析事故伤亡情况、行业分布情况、岗位分布、事故直接危害因素及盲目施救情况。从作业审批、通风换气、气体检测、个人防护器具佩戴、场外监护人员

配备、安全操作规程执行、安全培训7个方面着手,调查事故单位的安全管理情况。

1.3 统计学分析

采用Excel对数据进行处理,采用描述流行病学方法,按照事故发生类型、行业、发生地点和岗位、伤亡人数、事故危害因素、安全作业管理以及盲目施救情况等进行数据分析。

2 结果

2.1 事故概况

2014—2015年发生的47起各类有限空间作业(不含矿井)较大以上中毒与窒息事故,共造成223人中毒和160人死亡,事故死亡率达71.8%。平均每起事故造成4.7人中毒,3.4人死亡。据国家安全生产监督管理局事故案例库信息,2014—2015年全国共发生各类较大以上中毒与窒息事故68起,其中有限空间作业事故达47起,占同时期中毒与窒息事故总数的69.1%,可见有限空间作业事故仍是当前我国安全生产工作的重要挑战。

2.1.1 事故发生行业 有限空间较大以上中毒与窒息事故广泛发生,共涉及16种行业,相关分布见表1。此类事故多发行业依次为市政设施管理业,化工制造业,建筑业和电、热力供应业。

表1 2014—2015年我国有限空间作业较大以上中毒与窒息事故发生的行业情况

行业	事故数 (起)	构成比 (%)	死亡人数 (人)	构成比 (%)
市政设施管理业	11	23.4	39	24.4
化工制造业	6	12.8	20	12.5
建筑业	5	10.6	17	10.6
电、热力供应业	4	8.5	15	9.4
非金属矿物制品业	3	6.4	9	5.6
黑色金属冶炼加工业	3	6.4	11	6.9
农副食品加工业	3	6.4	11	6.9
皮毛制品加工业	2	4.3	7	4.4
生态保护和环境治理业	2	4.3	6	3.7
畜牧业	2	4.3	6	3.7
运输设备制造业	1	2.1	3	1.9
通用设备制造业	1	2.1	3	1.9
橡胶和塑料制品业	1	2.1	3	1.9
造纸和纸制品业	1	2.1	4	2.5
房地产业-物业管理	1	2.1	3	1.9
不详	1	2.1	3	1.9
合计	47	100.0	160	100.0

2.1.2 事故发生地点和岗位 进一步分析事故多发行业的事故发生地点,并对事故伤亡情况进行统计,相关结果见表2。从表2中可见,市政设施管理行业发生事故11起,中毒45人,死亡39人,死亡率86.7%。其中9起事故发生在污水管网的污水井,2起事故发生在污水处理站的污水池。

表2 2014—2015年我国有限空间作业较大以上中毒与窒息事故的发生地点和人员伤亡情况

行业	事故地点	事故数 (起)	中毒人数 (人)	死亡人数 (人)	死亡率 (%)
市政设施管理业	污水井	9	36	31	86.7
	污水处理站	2	9	8	
化工制造业	好氧池	1	5	3	80.0
	溶解池	1	3	3	
	地坑	1	4	4	
	分离罐	1	3	3	
	操作井	1	4	4	
	地坑	1	6	3	
建筑业	污水井	2	10	7	68.0
	涵洞	1	7	4	
	基坑	1	5	3	
	不详	1	3	3	
电、热力供应业	供热井	2	6	6	88.2
	电力管沟	1	7	5	
	地下室	1	4	4	

化工制造业发生事故6起,中毒25人,死亡20人,死亡率80.0%。其中3起事故发生在反应池,1起事故发生在分离罐,其余两起事故分别发生在操作井和地坑中。建筑行业发生事故5起,中毒25人,死亡17人,死亡率68.0%,相应事故主要发生污水井、基坑和涵洞。电、热力供应业发生事故4起,中毒17人,死亡15人,死亡率88.2%,事故主要发生在供热井和电力管沟中。

对事故发生的作业岗位进行了统计,相关情况见表3。事故岗位主要为清理清淤作业和检查维修作业,共发生事故35起,占事故总数的74.5%,累计死亡120人,占总死亡人数的75.0%。

2.2 事故发生原因分析

2.2.1 直接危害因素 对47起事故进一步分类,经整理发现中毒事故共40起,缺氧事故9起,淹溺事故1起,事故涉及危害因素统计情况见表4(其中有3起事故由两种危害因素共同所致,列表中分别计入次数)。中毒事故共涉及危害因素3类,即硫化氢、一氧化碳

表3 2014—2015年我国有限空间作业较大以上中毒与窒息事故的作业类型分布

作业类型	事故数 (起)	构成比 (%)	中毒 人数	构成比 (%)	死亡 人数	构成比 (%)
清理淤泥	19	40.4	95	42.6	66	41.3
检查维修	16	34.0	79	35.4	54	33.7
设备调试	2	4.3	7	3.1	7	4.4
抽水作业	1	2.1	5	2.2	3	1.9
打捞	1	2.1	4	1.8	4	2.5
电缆铺设	1	2.1	7	3.1	5	3.1
投料	1	2.1	3	1.4	3	1.9
取水	1	2.1	3	1.4	3	1.9
施工	1	2.1	5	2.2	3	1.9
疏通	1	2.1	3	1.4	3	1.9
新旧管道贯通	1	2.1	6	2.7	3	1.9
不详	2	4.3	6	2.7	6	3.8
合计	47	100.0	223	100.0	160	100.0

表4 2014—2015年我国有限空间作业较大以上中毒与窒息事故的危害因素及中毒人员分布情况

类型	危害因素	事故数 (起)*	构成比 (%)	中毒人数 (人)	死亡人数 (人)	死亡率 (%)
中毒	硫化氢	25	53.2	128	86	67.2
	一氧化碳	10	21.3	45	33	73.3
	乙醇、乙酸、乙醛、 丙酮等化学物质	1	2.1	7	5	71.4
	不详	4	8.5	13	13	100.0
缺氧	甲烷	4	8.5	10	6	60.0
	氮气	3	6.4	10	10	100.0
	二氧化碳	2	4.3	10	7	70.0
其他	淹溺	1	2.1	—	3	100.0

[注]*: 事故数大于47起是因为其中3起由两种气体(硫化氢和甲烷或硫化氢和一氧化碳)共同作用导致, 列表中分别计入次数。

和乙醇、乙酸、乙醛和丙酮等组成的混合气体, 相应事故分别占总事故总起数的53.2%、21.3%和2.1%。由甲烷、氮气和二氧化碳导致的缺氧事故分别占事故发生总数的8.5%、6.4%和4.3%。淹溺事故1起, 占事故发生总数的2.1%。

硫化氢中毒是有限空间作业事故的主要原因。在本次统计事故中, 128人硫化氢中毒, 死亡人数86人, 死亡率高达67.2%。进一步分析发现, 硫化氢中毒事故主要发生在市政设施管理(9起, 36.0%)、化工制造业(3起, 12.0%)、建筑业(2起, 8.0%)、农副食品加工业(2起, 8.0%)和皮毛制品加工业(2起, 8.0%)。分析事故调查资料, 事故中硫化氢的来源主要为污水池、发酵池、管道等污水、淤泥中有机物分解产生的硫化氢。

一氧化碳中毒是有限空间作业事故的次要原因, 共发生10起, 占事故总数的21.3%。事故主要发生在

金属冶炼加工业(3起)、化工制造业(2起)和非金属矿物制品业(2起)。事故中一氧化碳主要源自反应炉(釜)中未充分燃烧(5起, 50.0%)、设备/管道故障导致的煤气泄漏(4起, 40.0%)以及化学残留(1起, 10%)。

2.2.2 事故单位的安全管理情况 对作业人员进行安全培训、建立和实施有限空间作业审批制度、作业前进行通风换气、检测气体、佩戴个体防护器具、配备场外监护人员、按照安全操作规程执行任务是国家安全生产监督管理总局《有限空间安全作业五条规定》的明确要求。为进一步掌握事故单位的安全管理情况, 依据相关资料, 从上述7个方面分析事故企业的管理要求落实情况, 相关结果见表5。

表5 2014—2015年我国有限空间作业较大以上中毒与窒息事故的作业管理情况

执行情况	较大以上中毒与窒息事故(n, %)		
	有	无	不详
执行审批制度	0(0%)	43(91.5%)	4(8.5%)
作业前通风换气	4(8.5%)	38(80.9%)	5(10.6%)
检测气体	3(6.4%)	39(83.0%)	5(10.6%)
佩戴个体防护用具	3(6.4%)	39(83.0%)	5(10.6%)
配备场外监护人员	2(4.3%)	40(85.1%)	5(10.6%)
执行安全操作规程	4(8.5%)	38(80.9%)	5(10.6%)
进行安全培训	6(12.8%)	36(76.6%)	5(10.6%)

47家事故单位均未完全执行相关管理规定, 对有限空间作业管理要求的落实情况极差。针对上述7项作业管理要求, 其中23家事故单位事故(48.9%)没有落实其中任何一项; 10家事故单位(21.3%)落实其中1项; 6家事故单位(12.8%)落实了其中2项; 2家事故单位(4.3%)落实了3项; 1家事故单位(2.1%)落实了其中5项。表5中可见事故单位的作业前安全培训率仅为12.8%, 通风换气率仅为8.5%, 气体检测实施和个体防护情况均仅为6.4%, 作业审批制度执行率为零。

此外, 资料显示16起事故存在明显的任务分包情况。其中10起事故的工作任务分包给不具施工资质的公司或个人, 且并未告知相关危害。随后承包方盲目施工, 引发事故。另有6起事故的工作任务分包给有相应施工资质的单位, 但其中4起由于安全管理制度不健全、现场施工监理不到位、外派施工人员未进行相应安全培训等原因导致事故发生。

2.2.3 盲目施救 在47起事故中, 39起事故(83.0%)存在因盲目施救而扩大伤亡的情况。39起事故初始伤

亡49人,因盲目施救导致伤亡人数又增加了139人,危害扩大3.8倍。见表6。

表6 2014—2015年我国有限空间作业较大以上中毒与窒息事故盲目施救所致伤亡情况

作业类型	盲目施救事故数(起)	构成比(%)	最初伤亡人数	构成比(%)	盲目施救后伤亡人数	伤亡扩大倍数
清理清淤	17	43.6	25	51.0	86	3.4
检查维修	14	35.9	16	32.6	69	4.3
设备调试	2	5.1	2	4.1	7	3.5
抽水	1	2.6	1	2.0	5	5.0
打捞	1	2.6	1	2.0	4	4.0
取水	1	2.6	1	2.0	3	3.0
施工	1	2.6	1	2.0	5	5.0
疏通	1	2.6	1	2.0	3	3.0
新旧管道贯通	1	2.6	1	2.0	6	6.0
合计	39	100.0	49	100.0	188	3.8

3 讨论

有限空间作业涉及的行业领域广泛,相关作业空间受限、危害因素众多且隐蔽性较强,作业风险高,危害大,事故多。由于目前国内尚未建立有限空间职业危害事故专项报告系统,加之各地方对企业有限空间作业排查不彻底,企业故意瞒报或迟报等,相关事故存在漏报的可能性。此外,受时间和资源的限制,本研究仅梳理了2014—2015年国家安全生产监督管理局事故案例库中有限空间作业较大以上中毒与窒息事故,不包括一般事故,本分析结果仅反映有限空间作业危害较严重的事故发生情况。

导致事故的直接危害因素主要是硫化氢、一氧化碳中毒,其次为甲烷和氮气引起的缺氧窒息,4种气体均属于窒息性气体。窒息性气体指经吸入使机体产生缺氧而直接引起窒息作用的气体,不同的窒息性气体有着不同的中毒机制和中毒条件^[7]。本研究统计的案例中74.5%的事故由化学窒息性气体硫化氢和一氧化碳中毒引起,19.2%的事故由单纯性窒息性气体如甲烷、氮气和二氧化碳引起。窒息性气体是引起重大急性职业中毒的主要化学因素之一,而在有限空间和地下室发生的窒息性气体中毒的单起中毒率和死亡率都较高^[8-9],王致等^[10]对2004年以来硫化氢、一氧化碳和氰化氢等窒息性气体中毒文献的分析发现,事故发生于有限空间的占74.0%。有限空间窒息性气体中毒的预防及应急措施值得进一步关注。

本次调查发现事故责任主体的有限空间安全作业相关管理制度等均未落实,进入前的审批制度落实率几乎为零,其他管理制度如作业前通风、检测,场

外监护、加强个人防护等也基本形同虚设。尽管我国近年先后出台多项有限空间安全作业指南及规定,但因责任主体方负责人对有限空间作业的危险性和事故后果的严重性认识不足,相关制度、设备、培训等方面不配套,造成各种规定落实或执行不到位,成为有限空间事故依旧多发的主要原因^[11]。

上述结果显示近年全国发生有限空间作业较大以上中毒与窒息事故依旧多发,安全形势不容乐观。经分析有限空间中毒和窒息事故在市政设施管理、化工制造、建筑和电热供应行业多发,这与刘艳等^[2]对北京市10年间有限空间作业事故行业统计结果类似。目前我国安全事故的监管重点主要集中在生产制造性企业,而有限空间事故多发的市政设施管理和电热供应行业属于公共设施管理及电力行业,成为监管的薄弱环节。同时相关事故主要发生在污水井(污水处理站)、反应池(罐)、基坑、涵洞等工作地点的清理清淤和检查维修等作业过程。而清理清淤工作技术门槛低,环境脏差,从业者多为外来务工人员,工作流动性大,作业前往往并未经受过专门训练,这也有有限空间事故多发的原因之一。

本调查发现盲目施救是导致事故危害升级严重的重要原因。本次调查中83.0%的事故存在因盲目施救而扩大伤亡的情况,导致事故伤亡人数从最初的49人扩大至188人,救援人员的伤亡远大于作业人员的伤亡。雷长群^[12]对2012—2015年6月全国工矿商贸行业较大以上次生衍生事故(盲目施救事故)分析发现,次生衍生事故集中发生在有限空间,共116起、死亡435人,分别占95.1%、95.6%,有限空间作业盲目救援形势及危害十分严重。依据资料进一步分析发现,产生盲目施救现象的原因主要是事故单位作业人员安全知识培训缺乏,安全意识淡薄,习惯性违规操作和冒险作业,应急救援预案演练缺乏,自救与救援能力均不足;同时事故单位管理人员缺乏相关安全知识培训,疏于管理和防范,应急救援预案演练欠缺,指挥能力不足,违规指挥人员救援;另外本研究中涉及的市政设施管理行业通常在公共场所进行建设和维护作业,事故发生时往往吸引周围路人冒险施救,而作业现场缺乏警示标志,路人通常也缺乏有限空间作业危害及应急救援知识。

为保护劳动者的健康安全,预防有限空间作业事故的发生和降低事故危害程度,提出以下建议:(1)企业严格落实有限空间作业安全管理要求。企业

应当切实履行有限空间作业安全责任,建立健全有限空间作业安全管理制度和操作规程,加强投入,坚决落实安全警示标识、作业审批、作业前通风换气、气体检测、作业中持续监测、安全防护、应急救援设备配备、场外监护人员配备、安全操作规程制定与执行、人员培训、应急预案制定及演练等工作。(2)加强监督执法力度,建立有限空间管理平台及职业危害事故专项监测报告系统。监管部门应加强企业有限空间排摸,建立管理台账,开发有限空间作业管理平台。同时建立事故专项报告监测系统,定期开展风险评估,及时发现事故多发领域及管理薄弱环节,开展专项治理,提高监管效能,有效预防控制同类事故的发生。(3)开展重点行业、重点人群教育培训。针对地下管网、污水池清淤等非常典型的有限空间作业,制作宣教资料,如电视宣传片、公益广告等,通过在媒体和企业中播放,加强对公众对常见有限空间作业的辨识,同时加强市政服务行业从业人员、外来务工者的相关知识教育培训。(4)重点加强事故应急救援培训,杜绝盲目施救。针对有限空间作业危害事故救援展开专题培训,普及有限空间作业现场以及存在的危险,进入有限空间前安全条件、危害防护和应急措施,重点突出盲目施救危害性,杜绝缺乏有效防护设施和专业技能的人士盲目参与施救。

参考文献

- [1] BURLET-VIENNEY D, CHINNIAH Y, BAHLOUL A, et al. Occupational safety during interventions in confined spaces [J]. Saf Sci, 2015, 79: 19-28.
- [2] 刘艳, 秦研. 有限空间作业安全[M]. 北京: 团结出版社, 2016: 1-34.
- [3] 刘艳, 杨春丽. 有限空间作业事故特征及其原因分析[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(3): 141-146.
- [4] 缺氧危险作业安全规程: GB 8958—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [5] 密闭空间作业职业危害防护规范: GBZ/T 205—2007[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
- [6] 安全监管总局监督管理四司. 有限空间作业事故处置不当等问题应加强防范[EB/OL]. (2016-07-14) [2018-06-01]. <http://news.163.com/16/0714/15/BRUQS31200014SEH.html>.
- [7] 杨新建. 密闭空间窒息性气体职业中毒事故原因及预防控制措施分析[J]. 工业卫生与职业病, 2008, 34(5): 309-311.
- [8] 张敏, 李涛, 王焕强, 等. 1989至2003年全国窒息性气体重大急性职业中毒的特征[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2006, 24(12): 712-715.
- [9] 张敏, 李涛, 陈曙旻, 等. 我国硫化氢中毒的特点与控制对策[J]. 工业卫生与职业病, 2005, 31(1): 12-14.
- [10] 王致, 张晋蔚, 邓冠华, 等. 窒息性气体急性职业中毒事故原因分析及对策[J]. 职业卫生与应急救援, 2015, 33(6): 453-455.
- [11] 王山, 傅贵, 秦妍, 等. 有限空间作业事故原因及预防方法研究[J]. 工业安全与环保, 2012, 38(10): 57-59.
- [12] 雷长群. 工矿商贸行业较大以上次生衍生事故分析研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(10): 149-155.

(收稿日期: 2017-12-15; 录用日期: 2018-06-15)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 陶黎纳, 陈姣; 校对: 王晓宇)