

2016年度 灭火与应急救援技术 学术研讨会论文集

中国消防协会灭火救援技术专业委员会
灭火救援技术公安部重点实验室

编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

2016年度 灭火与应急救援技术 学术研讨会论文集

中国消防协会灭火救援技术专业委员会 编
灭火救援技术公安部重点实验室

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

图书在版编目(CIP)数据

2016 年度灭火与应急救援技术学术研讨会论文集 /
中国消防协会灭火救援技术专业委员会, 灭火救援技术公
安部重点实验室编. —北京: 中国石化出版社, 2016. 8
ISBN 978-7-5114-4260-4

I. ①2… II. ①中… ②灭… III. ①灭火—学术会议—文集
②消防—救援—学术会议—文集 IV. ①TU998.1—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 202286 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式
或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010)84271850

读者服务部电话: (010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京艾普海德印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

880×1230 毫米 16 开本 48 印张 1393 千字

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

定价: 200.00 元

《2016 年度灭火与应急救援技术学术研讨会论文集》

编辑委员会

主 任：马金旗

副主任：赵连琦

委 员：（按姓氏笔画）

付立兵 闫胜利 吴立志 沈耀宗

李建华 姜自清 袁狄平 康青春

《2016 年度灭火与应急救援技术学术研讨会论文集》

评审专家组

主 任：赵连琦

副主任：吴立志 康青春

评 委：（按姓氏笔画）

付立兵 卢立红 闫胜利 沈耀宗

李建华 姜自清 袁狄平 商靠定

《2016 年度灭火与应急救援技术学术研讨会论文集》

编 辑 组

康青春 袁狄平 卢立红 张晓丽 史可贞

王淮斌 王兴波 李 玉 靳学胜 李焕群

李智慧

目 录

危险化学品事故应急救援

消防部队处置重特大危化品事故对策研究——天津港特大火灾爆炸事故启示	付立兵(1)
危险化学品泄漏事故应急疏散决策影响因素分析	李向欣(4)
危险化学品事故的险情分析与处置对策研究	刘 涛(9)
危险化学品灾害事故处置及应急救援战术研究	吴成龙(12)
危化品火灾撤离战术研究	冉 然(15)
危险化学品灾害事故处置对策思考与探讨	陈先斌, 张福好(19)
危化品泄漏事故处置中侦检体系的探究	刘清云(23)
危化品水路运输泄漏事故应急处置研究	胡华光(27)
危险化学品事故现场伤员紧急救护对策	陈婧睿(31)
有毒化学品泄漏事故应急疏散范围的确定方法	李义飞(34)
有毒化学品泄漏事故危害区域的软件模拟分析	张云博, 胡玉华(39)
一起危化品泄漏事故的数值模拟及对策研究	王万通(43)
试论危险化学品运输车停车场应采取的消防安全技术措施	王海祥(47)
对危险化学品槽罐汽车事故危险性的再认识	欧军歌(51)
关于对天津港“8·12”火灾爆炸事故应急处置的几点思考	朱忠明, 梁旭太(53)
从“8.12”天津港特别重大火灾爆炸事故谈化学危险品事故处置现状及对策	崔彧宁(56)
白酒存储仓库火灾危险性分析及应对措施	米存存(59)
白酒厂火灾特点及扑救措施研究	高小宝(63)
生产车间粉尘爆炸事故应急处置研究	汪军庆, 景 绒(66)
6·3 吉林德惠火灾事故潜在风险分析	黄梓浩, 胡定煜(70)

石油化工火灾应急处置与火灾扑救

城市燃气供气管道泄漏事故的成因分析及处置对策探讨	张正利(74)
浅析石油化工火灾扑救的十个关键点	戚文军(79)
扑救石油化工火灾新技术研究	刘光锋, 刘玉身(83)
石油化工火灾处置与对策之探究	闫光林(88)
石油化工火灾次生水体污染事故的危害及控制措施	王 勇(91)
石油化工事故性泄漏分析及处置对策	杨 进, 栗向威(95)
石油化工火灾的应急处置与扑救	姚 磊, 李绍宁(99)

石化蒸馏装置的火灾的风险防控技术探讨	文展鹏(102)
外浮顶储罐火灾处置技术研究	傅柄棋(105)
内浮顶石油储罐火灾扑救战术方法研究	康大谦, 姜连瑞(111)
液化石油气储罐火灾扑救对策探讨	董新明(115)
油罐火灾辐射热模拟计算研究	连旦军(119)
基于 FDS 的内浮顶罐火灾扑救影响因素分析	兰天其(124)
ICS 架构下的石油储罐火灾应急处置	张宗嘉(128)
原油集输站场火灾风险评估分析	杨建军(132)
CNG 加气站储气系统安全性分析	林 源, 沈昀骐(135)
浅析青岛“11·22”中石化东黄输油管道泄漏爆炸事故处置	田洪星(139)
刍议漳州古雷 PX 项目“4·6”火灾爆炸事故暴露出的防灭火问题	刘增青, 白宇甲(143)
液化石油气储罐泄漏危害区域模拟方法研究	张 潇(147)
浅谈液化石油气火灾处置对策	李大鹏(150)
液化天然气槽车火灾爆炸危险性分析	何国良(153)
液化天然气槽车泄漏事故应急救援处置措施研究	韩 月, 任志明, 杜明辉(157)
液化天然气槽车泄漏事故应急处置对策	熊祥祥(160)
大型石化火灾现场泡沫灭火剂输转方法研究	胡可亮(163)
对两种泡沫灭火剂在燃油表面铺展过程的研究	杜明辉(166)
煤基烯烃企业灭火救援对策研究	陈立峰(170)
易燃液体泄漏现场应急处置技术探讨	孙晓涛, 任常兴(174)
基于 ALOHA 软件液氨泄漏扩散范围影响因素的研究	朱文宇(177)
基于数值模拟的大型低温乙烯储罐连续性泄漏研究	张 磊(181)
加油加气站防火措施研究	王小龙(185)
油罐应急处置后果分析软件设计	王瑞琦, 周 扬(188)
密集型石化企业消防规划研究概述	于 涛(194)

建筑火灾扑救与事故救援

大跨度大空间纸业厂房火灾扑救的思考	王龙灿, 王 龙(197)
大跨度大空间建筑火灾扑救战术研究	余运动, 张 源(200)
大跨度大空间建筑火灾扑救难点及对策分析	刘 松, 曾泽城(204)
大型城市综合体灭火救援探讨	牛小强(207)
浅谈高层建筑常见消防隐患与应对之策	胡 志(211)
典型高层建筑疏散方式对比实验研究	杨 帆, 张丽梅(214)
加强高层建筑灭火救援工作的几点思考	商 行(218)
以五台山文物古建筑群为例浅析古建筑火灾扑救对策	卫 栋(221)
高大中庭热烟输运规律研究的实验方案设计	王译阁, 吴彬航, 王天玺(225)
民用建筑火灾消防力量编成模式研究	朱彦博(228)
常见木质板材室内火灾行为实验研究	覃诗舟, 王 振(233)
浅析地下车库火灾扑救	王振飏(238)
浅析地铁火灾处置对策	张 伟(241)

基于案例统计的地铁火灾处置措施研究	成文卿, 李驰原(245)
室内火灾排烟方式效果比较研究	杨 顶(249)
川西藏区农村火灾特点及扑救对策	吴 刚(255)
浅析“城中村”、“城乡结合部”火灾多发原因及防范对策	刘 杨(259)
关于城市电梯事故救援的研究	范文恺(262)
建筑倒塌事故人员搜救的研究	郭松涛(266)
建筑火灾倒塌事故预测及预防研究	王 铁(269)
地上建筑倒塌事故消防救援浅析——以萍乡安源“2·26”居民楼坍塌事故救援为例	丁六兵(275)
典型钢框架结构建筑火灾中坍塌预测研究	史可贞(278)
建筑火灾中回燃现象的模拟研究及对策	王 林(282)
宿舍楼火灾烟气模拟分析及其在疏散中的应用研究	胡 威, 魏 旗, 黄梓浩(287)

特殊灾害事故处置与火灾扑救

消防部队开展冰难救援浅析	卢 健, 王伟男(291)
冰面塌陷事故救援方法探析	徐志勇(294)
借中美标准提升飞机事故救援能力的研究	张向辉(298)
航空母舰火灾扑救技战术方法研究	姜连瑞, 陈炳旭, 张留泉(301)
对索道事故救援的几点看法	王兴波(306)
公路隧道交通事故应急救援技战术方法研究	张 涛(309)
浅议山岳事故消防救援能力建设——以桂林尧山景区观光缆车事故抢险救援为例	郭贻晓(314)
高铁列车脱轨事故救援技术研究	汪长林, 叶 涣(317)
电动汽车动力电池组着火机理及火灾预防对策研究	李黎丽, 董淑量(321)
深圳“12·20”滑坡事故救援的几点思考	李 阳(325)
浅谈不同沟渠的支撑方法	崔 坤(330)
放射性火灾事故应急处置对策	李春宇(335)
浅谈消防部队参与反恐处突遂行救援对策	石程涛, 杨宝宏(339)

指挥体系与队伍建设

关于加强政府综合应急救援能力建设的实践与思考	房凌春(343)
加强区域联动协作提高打赢制胜战斗力	张智慧(347)
浅析支队级消防指挥中心现状与规范化建设	刘伟琦(350)
基于灾害事故处置的应急指挥决策信息管理研究	翟 健(353)
我国消防部队灭火救援体系建设研究	郭大煜, 李 赞, 向俊任(356)
网络化应急救援体系的构建	夏正霖, 高 平, 吴俊辉(360)
应急救援体系组织结构刍议	王淮斌, 杜明辉(364)
完善消防应急救援保障体系的对策研究	崔文涛(368)
以青海玉树“4·14”地震为例浅谈我国在地震救援中应急指挥组织体系的建立	吴豪华(372)

谈消防作战指挥中心扁平化指挥体系建设	陆万里, 李向朋(376)
现代灾害事故的发生特点对灭火与应急救援组织指挥的时代要求探析	张家明(378)
消防部队综合应急救援运行机制存在的问题及对策研究	吕国徽(381)
灭火救援初战指挥浅析	郑创锋(385)
谈谈灭火救援初战指挥	郝海冰(391)
以党在新时期下的强军目标为引领推动公安消防部队发展实现新跨越	翟 东(395)
当前消防部队战斗力生成模式研究	洪 航, 费文海(398)
消防专业指挥人才队伍建设中面临的问题与思考	薛晓东(401)
机场专职消防队伍建设的几点思考	王 威(403)
消防中队指挥员指挥能力提升途径研究	王 林(407)
浅析影响消防辅警队伍建设的问题和对策	普布次仁(410)
灭火与应急救援队伍建设研究	刘 臻(413)
刍论危险化学品企业救援队伍规范化建设——以中国石油集团危险化学品 应急救援队伍为例	杜 佳(416)
我国现役消防员选拔刍议	侯 祎, 张 晶(420)
提高基层指挥员初战指挥能力的对策研究	左利涛(423)
基层消防指挥员初战指挥能力问题及应对措施	蒋佳益(426)
提高基层指挥员灭火救援实战指挥能力方法研究	辛宜洁(429)

灭火与应急救援装备

基于维修级别分析的消防车维修决策方法研究	陈智慧, 潘婷婷(432)
基于可靠性为中心的消防车维修管理模式研究	牛 哲(437)
基于动态 RCM 的消防车维修策略研究	高以磊(441)
消防装备维修费效益的界定与分析	彭 曦(445)
提高消防装备战时应急抢修能力的思考	孟凡强(449)
灭火救援攻坚组装备配备的原则探析	刘计卫(453)
石油化工火灾关键攻坚装备配备需求研究	朱五八, 潘 森(456)
应急救援用空气艇机动性能的改进研究	张忠阳, 王丹丹, 陈大力, 李 钢, 杨东星(459)
可穿戴式计算机及无线通信技术消防应用分析	李本利(463)
简易通信在地震救援现场的应用	袁淑文(467)
基于图像探测技术大空间建筑智能消防系统的研究	张志华(472)
3G 图像传输系统在消防的应用研究	韦 凡(475)
固定消防设施在高层建筑火灾扑救中的应用	刘 皓, 贾定夺(478)
民用建筑柴油发电机房灭火系统选择	董晋良, 王广宇(481)
便携式大流量供水设备技术应用研究	惠 光(485)
不同射流水枪对抑制轰燃现象的研究	胡 堃(487)
灭火救援装备油液的使用研究	张晓青(490)
消防大型破拆机械在抢险救援现场的用途与应用	郭学东(494)
新型大跨度高喷消防车在油罐火灾扑救中的应用探究	冯令甲, 石 祥, 徐国荣, 吴伟传(497)
消防无人机应用现状及发展模式探讨	苏鹏宇(501)

关于无人机应用于危险化学品事故灾害处置的探讨	唐伟杰(504)
石油化工区无人机应用研究	黄河(507)
灭火救援中人工风能的应用	于小龙, 姬永兴(510)
基于 Zigbee 技术的石化园区安全监测传感系统设计	王 龙, 王龙灿(514)
“7·16”日照石大科技液化石油气爆炸燃烧事故救援处置消防装备应用效能调查分析	张俊杰(517)
浅谈大型事故灾害处置中的消防信息化保障	雷 琦(520)
灭火救援应急通信保障预案研究	张颖花(524)
大型灾害现场消防通信的困境及对策研究	刘滋豪(528)
浅析 4G 技术在消防通信装备中的应用	张 云(532)

教育训练

新形势下推动公安消防部队战训工作改革的实践与思考	胡万吉(535)
危险化学品泄漏事故应急救援实战化训练的实践与思考	任志明, 杜明辉(540)
如何开展实战化训练有效提升部队灭火救援能力	江志军(544)
基层消防部队实战化训练问题研究	李驰原, 乔国良(547)
实战化要求下加强消防部队新兵训练的探讨	张 星(550)
一款 3D 模拟训练系统的研发与应用	黄道灿(553)
危险化学品火灾处置虚拟现实仿真训练系统研究	李 或(557)
计算机模拟训练技术在实战化训练中的应用研究	袁作林, 刘贤良(562)
基于 ADMS 系统的实战化训练应用研究	孙军田, 许国扬(567)
三维建模技术在灭火救援仿真训练中的应用	付丽秋(571)
大数据时代“智慧消防”建设的机遇与挑战	王宗盛(574)
桌面推演实例与在消防部队指挥决策训练中的应用思考	张 智(579)
建筑真火模拟训练设施设计探析	危 伟, 王长江, 马艺嘉(584)
移动式真火训练设施设计探讨	陈圣戈, 王长江(587)
数字化灭火救援预案编制与运用研究	樊继沛(591)
危化品事故救援实战化教学训练探讨	杨文俊(597)
液化石油气槽车泄漏事故的堵漏技术在实践教学中的应用	李莹滢, 王永西(600)
实战化训练是指挥人才培养的必要途径	闫胜利(607)

安全管理及法律问题

灭火与应急救援技术专业硕士研究生培养模式刍议	张 健, 张 跃(611)
消防员绳索救援技术训练改革研究	吴俊辉(615)
基于流量控制技术火灾综合训练舱的研究	孙 宁(620)
公安消防部队灭火救援和训练考核系统设计	钱鹏程, 赵照东(623)
浅谈油罐火灾扑救演练效能评估指标	李新泉(627)
灭火救援实兵演练效果评估方法研究	陈 晨, 汪长林(632)

浅析公安消防部队士兵职业技能鉴定的理论与实践	周鹤鸣(635)
灭火与应急救援优先通行(航)权的法学解析	李佑标(638)
新形势下化学危险品灭火应急救援中涉法问题浅析	赵树海(641)
从我国现行法律谈应急救援工作	陈治国(644)
浅析消防行政指导制度	刘方飞(647)
突发公共事件应急救援军地协调存在的法律问题	赵桂民, 王春燕(650)
消防部队灾害现场作战安全问题研究	刘文跃(653)
消防员灭火救援行动安全研究	李守治, 杨帆(657)
浅析灭火救援安全工作的现状与对策	苑增江(661)
浅谈如何加强基层消防部队灭火抢险救援安全工作	魏伟(664)
建筑火灾内攻行动安全评估研究	王德智(667)
浅析地铁灭火救援中消防员安全及个人防护装备优化运用	陈海波(671)
网吧火灾案例及消防安全管理对策分析	杨殿波(675)
灭火救援行动安全现状分析及对策研究	成武家, 李建华(678)

其 他

“兵贵胜”视野下消防灭火救援实战效能探析	杨军(681)
初探大数据在灭火救援中的运用	肖调伟(685)
合理使用消防水源优化火场补水方法	马鸿睿(687)
火灾事故的空间相对风险分析	李国辉, 王澄, 郭歌, 王颖(690)
基于 FRAME 的地下建筑应用研究	王钦正(695)
乌鲁木齐高铁站区北广场地下空间项目消防安全性能化评估探讨	李守斌(699)
京津冀协同发展背景下区域性火灾隐患整治的思考	袁松如(702)
加强消防安全重点单位监督管理力度的思考和探索	谢力能(706)
关于推进消防社会化监管机制的几点思考	辛曙光(710)
消防宣传工作中的问题分析与解决方案	康璐(713)
浅析开放居住小区对社会消防工作的影响	房正良(716)
浅析消防战训工作中的消防员心理素质	董江(720)
基层指挥员灾后心理问题疏导研究	陈璘, 姜连瑞, 孙弋岚(722)
某商场防火分区划分安全性分析	江飞波(726)
实体火灾实验安全防护规程	吴超, 李驰原(729)
浅议灭火救援中的网络舆情危机处置	刘丹宇(733)
我国火灾事故调查改革研究	韩笑(736)
某石油企业火调工作的困难和对策	李强(739)
建议尽快制定消防制图国家统一标准	张媛媛(743)
消防应急救援后勤保障的 SWOT 分析	任辉(746)
敌腐特灵对土壤微生物毒性效应研究	史家康, 毕波(749)
FDS 输出数据文件格式解析与可视化研究	王俊(753)

消防部队处置重特大危化品事故对策研究 ——天津港特大火灾爆炸事故启示

付立兵

(四川省公安消防总队, 四川 成都 610036)

摘 要 本文通过深入反思天津港“8·12”瑞海公司危险化学品仓库特别重大火灾爆炸事故的经验教训,立足消防部队参与处置危化品灾害事故的特点与挑战,针对当前国内危化品灾害事故处置的现行模式和发展方向,尤其是消防部队参与处置危化品灾害事故的战略战术和机制体制,从政府、部门、社会等多个层面,法律法规、行政管理、指挥处置等多个角度,以及风险控制、综合减灾、危机管理等多种视角,对危化品事故处置进行深入研究剖析,并探索提出了方法和对策。

关键词 消防 危化品 应急管理 防灾减灾

1 火灾爆炸事故回顾与反思

1.1 危化品种类杂数量多, 处置难度极大

瑞海公司港口仓库危化品种类繁多、存储量大、摆放错综复杂。从调查结果看,该仓库共存储危险货物 7 大类 111 种,共计 11383.7t,其中硝酸铵 800t,氰化钠 680.5t,硝化棉以及硝化棉溶液、硝基漆片 229.37t。经事故现场分析确定,至少 129 种化学物质发生了爆炸燃烧或泄漏,其中硝酸钾、氢氧化钠、硝酸铵、氰化钠、金属镁 6 类易燃、易爆、剧毒物质占反应物总质量 50% 以上。各类危险化学品相互作用、加剧反应,导致灾害的发展速率、破坏强度和处置难度均大幅增加。

1.2 灾情规模大变化快, 扑救风险极高

瑞海公司港口仓库发生火灾后仅 34min,即迅速形成 6 处大火点和数十个小火点,并在 31s 内连续发生 2 次爆炸,总能量相当于 450t TNT,瞬间形成 1 个直径 15m、深 1.1m 的月牙坑和直径 97m、深 2.7m 的大爆坑,冲击波覆盖面积 $54 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。火灾燃烧时间短、蔓延速度快、爆炸能量大、辐射毒性强等各种不确定因素影响和各类风险因素叠加,给灭火救援行动造成极大风险。

1.3 灾害伤亡多损失重, 造成影响严重

此次火灾爆炸事故造成 165 人遇难、8 人失踪、798 人受伤和 304 栋建筑损毁、12428 辆商品汽车和 7533 个集装箱烧毁受损,直接财产损失 68.66 亿元,亡人数、伤人数和直接财产损失为建国以来之最。尤其是事故造成天津港消防人员和现役消防员 110 人牺牲,给消防事业带来沉重损失和不可估量的影响。

1.4 问责环节多涉面广, 暴露问题复杂

根据事故原因调查和责任认定结果,监察机关和公安机关对 49 名企业人员和行政监察对象依法采取了刑事强制措施,对 123 名责任人给予党纪政纪处分,对事故企业和中介及技术服务机构等 5 家单位给予了行政处罚,对 5 名省部级、31 名厅局级、38 名县处级领导严厉追责,问责的广度和深度前所未有,暴露出有关部门和领导滥用职权、玩忽职守、违规审批、监管缺失等突出问题。公安消防部门相关人员也被追责处理,教训十分深刻。

2 消防应急处置特点与挑战

2.1 特殊的理化性质制约应急手段施展

我国《危险化学品目录》中收录的具有易燃、易爆、腐蚀、高温、有毒等理化性质的危化品多达 2828 类,相互作用极易引发剧烈反应,造成严重灾害。在“8·12”火灾爆炸事故中,由于硝化棉自燃引发火灾,又与精萘、硫化钠、甲酸等多种危化品共同燃烧分解发生爆炸,以水作为灭火剂的常规灭火车辆装备难以扑救,影响灭火救援行动展开。

2.2 顶层法规不健全制约应急责任落实

顶层法律法规制度不健全是危化品火灾事故的先天隐患。“8·12”火灾爆炸事故,暴露出国家缺乏统一的危化品安全监管专门法律,虽然瑞海公司违规经营和储存危化品,严重违反了《消防法》、《港口法》、《环境影响评价法》等法律法规,但受监管不明确、处罚力度偏轻、企业违法成本低等影响,企业和监管部门未落实安全主体责任,

安全意识淡薄,违章操作、带病运营、盲目蛮干,安全检查、安全教育、应急演练等流于形式。

2.3 管理体系不健全制约应急工作开展

管理体系不健全导致监管缺位,为各类违法行为提供了庇护所。监管部门对瑞海公司营业运营资质,超高码放、超量存放、间距不足、货品混装、消防通道堵塞等问题视而不见,企业未建立安全管理机构,危化品管理台账混乱、特种设备及其操作人员无证上岗,日常监督检查、风险源评估等制度流于形式,重大安全隐患数量众多、底数不清,导致灾情发展预测不准,应急处置难以开展。

2.4 准备措施不到位影响应急处置效果

由于日常准备措施不重视、不到位、不经常,导致事故发生后,询情不明(企业值班人员、现场处置的人员均不知道火场发生燃烧的物质及其理化性质和可能发生的危险),判断失误(忽视了爆炸、有毒、污染等可能带来的严重后果),处置失准(力量调集零打碎敲),导致灾情控制不力。

3 重特大危化品事故消防应急处置战略战术

3.1 依托风险评估的全过程减灾

要建立事前的风险评估机制,对大型危化品单位组织开展危险源评估,了解掌握危化品企业生产、存储最薄弱的环节、最危险的流程、最不利的因素,针对可能造成的危害,找准风险点和警戒线,对症下药。要建立事中的风险控制机制,在灭火作战中,要综合评估本地区消防部队作战实力,科学计算灭火药剂储量、供液能力和调警数量,形成对事故现场安全风险的控制力。要前移事后的风险管控关口,重视处置行动对大气、土壤、水质等自然环境可能造成的影响,防止二次污染。

3.2 基于目标识别的全类型处置

目标识别是动态的过程,就危化品事故处置而言,关键要坚持“全类型”识别和“一准二会三快”处置原则。“一准”即目标判断准,控制还是消灭、封堵还是倒罐、防塌还是防爆,必须判断准确。“二会”即会判断、会处理,针对瞬息万变的火场情况,快速准确判断,科学灵活应对,不能盲目处置。“三快”即信息搜集快、初期处置快、力量增援快,第一时间了解灾情要素,第一时间到场展开处置,第一时间调集足够警力,坚持“打早打小”,形成“压倒态势”。

3.3 突出预警预防的全要素准备

预警预防是危化品安全的第一道防线。要从

日常的监管、预案、训练、演练等入手,查隐患降风险、做足处置准备。要从火场侦察入手,通过外部、内部、仪器检测和询问了解等手段,综合判断现场态势,动态掌握和研判现场情况变化,对可能造成的爆炸、毒害、垮塌等情况要密切注意,把握好进攻、防御、撤退和放弃的时机,避免不必要的官兵伤亡。

3.4 立足作战效能的全方位建设

作战效能是指部队人员、装备、作战原则、战术、保障在特定条件下完成任务的总体水平。要围绕影响作战效能的关键要素,在装备配备和人员选拔上突出精炼,在训练计划和作战编成上体现科学,在联动联勤和综合保障上狠抓到位。要指导危化品企业建立危化品事故专业处置队伍。熟悉原料性质和工艺流程的企业人员,也要纳入消防部队危化品事故的联动处置力量编成。

4 重特大危化品事故消防应急处置机制体制

4.1 国家层面规范配套立法

目前,我国在危险化学品管理及应急救援工作存在职责不清、体制不顺、职能交叉等突出问题,要实现我国危险化学品管理及应急救援工作规范化、法制化和科学化,要在《危险化学品安全管理条例》的基础上,抓紧修订完善配套法律法规,以法律的形式明确危险化学品生产、包装、流通、运输、经营、储存、物流、使用等各个环节具体管理规定,明确危险化学品监督管理具体部门,建立易燃易爆、剧毒等危险化学品专营制度,加大对危险化学品违法行为的处罚力度。依托《中华人民共和国突发事件应对法》,制定《危险化学品灾害事故应急处置法》,明确党委政府、驻军武警、有关部门、组织和人员在应急救援工作中的职能、权限和义务,明确负责协调应急救援工作中国家、企事业单位、社会团体及个人之间关系的组织部门,规范有关应急准备、应急响应和应急恢复的各项制度,逐步把危险化学品灾害事故应急救援工作纳入法制的轨道。在《公安消防部队执勤战斗条令》的基础上,制定《公安消防部队区域作战条例》,参照解放军战区指挥模式,建立消防部队区域力量指挥调度、联勤联训、协同作战的灭火救援指挥体系,取长补短、整合区域,分圈层、区域统筹作战力量。

4.2 技战术层面的科学运用

危化品火灾燃烧猛烈,具有爆炸、中毒、腐蚀等危险,要深入贯彻“救人第一、科学施救”的指导思想,坚持“先控制、后消灭、固移结合、

攻防并举的战术原则。应急响应要及时,要针对不同规模的危化品火灾,启动不同的应急响应程序,尽可能的调集优势作战力量;要准确选择主攻方向。确定救人作为火场的主要方面时,要同时选准最关键的抢救路线和进攻部位;确定阻截火势蔓延为主要方面时,应选择有决定意义的堵截点。要抓住火场的主要方面,火势一时无法控制,要集中到达火场的消防力量,解决火场最为关键的问题,或在最为关键的部位打开局面,控制火势的无节制发展,为大兵团作战的全局行动提供有利条件。要把握好时机,要考虑火势发展蔓延可能产生的高温、中毒、倒塌、爆炸等险情,防止难以预料的因素对作战行动构成的威胁。要合理设置警戒,要对火场的影响进行评估,合理设置警戒的范围,坚决落实禁火、禁电措施。要科学设置水枪炮阵地,要在下风方向利用车载水炮、移动炮、泡沫炮快速抵近燃烧区和邻近保护区,强水流攻击、冷却、抑爆,射水冷却到位,不留盲区。

4.3 应急层面优化联指联动

重特大危险化学品灾害事故应急救援常是各部门、多种救援力量联合救援,参与的单位和部门隶属关系复杂,组织指挥难度加大。此外各救援队伍在接警系统和指挥调度中心建设上分散管理、分散建设,缺乏有效的统一指挥和综合协调能力,以致在重特大危险化学品灾害事故救援时,组织指挥无法准确及时的上令下达,经常出现指挥不到位、调度不及时、通信不畅通,各个队伍之间缺乏协作能力和沟通渠道、联动能力差等问题,没有统一的组织指挥,明确的职责分工,很难有效地实施科学的处置。《国家新型城镇化规划(2014~2020年)》和《中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》强调,要“加强和创新社会治理,切实保障城市安全”。特别是中央城市工作会议强调,要把安全放在第一位,把安全工作落实到城市工作和城市发展的各个环节各个领域。重特大危化品事故是城市安全的重大现实威胁和潜在风险,有必要采取特殊的机制和手段,进一步整合城市资源、理顺联动机制,确保科学有效地实施危化品灾害事故风险控制、应急管理和危机管控。针对不同灾害类型制定预案,明确公安、武警、驻军、安监、医疗卫生、环保、电力等单位在应急救援中的任务和协调配合的方式方法,确定响应机制和启动形式、组织原则和通信指挥方法,一旦发生重特大危险化学品灾害事故,第一时间按

照预案迅速展开应急救援工作;开展危险化学品事故实战演练,在政府的统一领导下,加强与军队、地方相关部门的协同配合,明确组织指挥和各部门的协调关系,开展经常性联合熟悉、联合演练、联合处置,提高协同作战能力和现场处置能力;结合危险化学品事故处置需要,在相关部门、专业院校、科研机构、企业单位、消防部队等范围内遴选专家人选,重点充实化工、建筑、医疗、环境等专业人员。依托消防部队灭火救援指挥系统,建立总队、支队专家组等级灾情响应和专家咨询制度,充分发挥业务培训、课题研究、智力支持和辅助决策作用。

4.4 社会层面综合动员保障

重特大危险化学品灾害事故应急处置难度大、时间长,涉及公安、消防、武警、解放军、交通、医疗等诸多公共职能部门,需要调动社会面各力量资源。在政府统一领导下,建立重特大危险化学品灾害事故应急救援联动指挥部办公室,及时制定和完善重特大危险化学品灾害事故社会救援保障预案。发生重特大危险化学品灾害事故后,由办公室整合社会资源,第一时间调动消防部队、公安、安监、医疗救护、交通运输、建设、民政和驻地解放军、武警、民兵等部门以及市政工程、水、电、气等公共事业单位参与事故处置。第一时间发布动员令,组织动员企业单位、协会组织等社会面各力量资源参与灾害事故处置。加强重特大危险化学品灾害事故紧急处置的物资和装备保障,建立紧急救援物资装备储备库,根据辖区应急救援处置工作实际需要,配足配齐各类车辆物资装备,保障救援所需物资。要特别针对危险化学品灭火药剂需求大、数量多的特点,与相关药剂生产单位签订重大灾害事故时调用协议,掌握最大需求量及调运方式,实行“分类储存、统一调集”。要完善衔接紧密的物资调用机制。充分发挥办公室的协调、领导作用,定期召开会议,对辖区内民政、卫生、市政、环保生产企业等部门及单位应急装备物资进行全面统计,并根据应急救援任务需要及时调整标准,提高保障水平,建立畅通的联络渠道,保证应急保障渠道畅通和保障的时效性连续性,真正形成社会化应急联动保障机制。

参考文献

- [1]天津港“8·12”瑞海公司危险化学品仓库特别重大火灾爆炸事故调查报告,国务院调查组,2016.

危险化学品泄漏事故应急疏散决策影响因素分析^①

李向欣

(中国人民武装警察部队学院消防指挥系, 河北 廊坊 065000)

摘 要 科学、合理地分析应急疏散决策的影响因素是做好应急疏散工作的前提。本文分析了疏散范围、疏散人员、疏散路径和避难场所等影响应急疏散决策的主要因素, 并以液氯槽罐车泄漏事故为例, 应用ALOHA软件模拟了氯气泄漏扩散的危害范围, 确定了疏散范围及疏散人员的数量, 采用动态规划法, 利用Lingo软件得出了液氯泄漏事故人员疏散的 k 条最佳疏散路径, 计算结果为应急疏散决策提供量化依据。

关键词 消防 危险化学品 泄漏 应急疏散决策

随着科学技术和化学工业的发展, 危险化学品的种类和数量不断增加, 其在生产、存储、使用、运输、废弃等环节存在的风险越来越大。近年来, 我国危险化学品事故频发, 尤其是重、特大危险化学品泄漏事故, 往往造成大量人员伤亡和巨大财产损失。为了减轻危险化学品对人员的伤害, 减少人员伤亡, 常常对处在危险区域的人员进行疏散。目前, 国内外专家学者开发了许多应急疏散模型, 并基于计算机仿真方法与数学分析方法应用于应急疏散规划, 但对于如何实现疏散整体最优仍是研究的一个重要方向。由于影响应急疏散决策的因素很多, 正确分析这些影响因素是实现优化决策的基础, 因此, 开展应急疏散决策影响因素分析的研究具有十分重要的现实意义。

危险化学品泄漏事故应急疏散决策的核心内容就是哪些人要疏散、疏散多少、疏散到哪里、如何疏散。本文在查阅大量文献资料的基础上, 结合应急疏散决策实践, 讨论影响应急疏散决策的主要因素及其确定方法, 为应急疏散决策提供依据。

1 避难方式分析

危险化学品发生泄漏事故后, 处在危险区域的人员必须采取有效地避难措施。避难方式通常有“就地避难”和“应急疏散”两种。“就地避难”是指受灾人员在危险区域内的避难空间(建筑物室内、专门的避难所等)进行避难的方式。“应急疏散”是指危险区域内的人员撤离危险区域到达安全地带的避难方式。在给定条件下, 选择合适的

避难方式取决于许多因素。在某种情况下, 应急疏散是最好的选择; 在另外的情况下, 找个地方躲避起来也可能是最好的选择; 有时, 可能同时使用两种方法。确定安全的避难方式是“就地避难”还是“应急疏散”, 主要考虑事故现场可以临时作为避难场所的室内有毒气体浓度值。若室内最高毒气浓度值高于危险临界浓度值, 则“就地避难”是危险的, 应选择“应急疏散”。

2 应急疏散决策的主要影响因素

2.1 疏散范围

2.1.1 按试验数据确定疏散范围

欧美发达国家已建立了比较成熟的化学品事故安全区域的确定方法。如美国、加拿大、墨西哥联合编制的《应急救援指南(Emergency Response Guidebook)》中定义了紧急隔离距离和下风向疏散距离, 得出了数千种化学品的疏散距离。由于这些数据具有很强的科学性, 同时鉴于我国尚无这方面的详细资料, 在应急疏散过程中可以参考这些数据, 同时结合我国气象情况、地形、事故现场实际情况进行调整。具体方法是参考疏散距离, 并划分为紧急疏散区和待疏散区。其中, 紧急疏散区是以紧急隔离距离为半径的圆, 处在该范围内的人员需要立即疏散; 待疏散区是指下风向必须采取保护措施的范围, 即该范围内的居民处于有害接触的危险之中, 可以采取撤离、密闭住所窗户等有效措施, 并保持通信畅通, 听从指挥。

这种方法根据泄漏物质和泄漏量, 可以直接查表确定疏散范围。由于许多危险化学品不能查

^① 基金项目: 武警学院中青年教师课题“危险化学品多灾耦合事故应急指挥决策方案优化研究”(KYCX201629)

到,对事故现场的信息利用不够,因此,不够精确,一般适用于事故初期的人员疏散。

2.1.2 按侦检、模拟结果确定疏散范围

为了区分救援任务的轻重缓急以及合理部署到场救援力量,在救援过程中,常将事故现场人为的划分为致死区、重伤区、轻伤区以及吸入反应区等危害区域。在确定疏散范围时,依据吸入反应区边界作为疏散范围的边界。目前,常应用仪器侦检法和软件模拟法确定危险化学品泄漏扩散的危害范围。其中仪器侦检法是利用不同类型的侦检器材,根据危险化学品对人体伤害的边界浓度值测定现场危险浓度,确定不同危害区域的边界,从而确定危害区域。此外,随着计算机及专业软件的迅速发展,在泄漏资料收集比较全面的情况下,还可以使用危险化学品大气扩散软件模拟危害区域。常用的模拟软件有 ALOHA、SLAB、DEGADIS、SAFETI、化学事故辅助决策系统等。ALOHA 软件包括了一个近 1000 种常用化学品的数据库,可以用来计算危险化学品泄漏后的毒气扩散、火灾、爆炸等产生的毒性、热辐射和冲击波等。本文应用 ALOHA 软件的模拟危险化学品泄漏扩散的危害范围,并确定疏散范围。

上述两种方法各具特色,其中仪器侦检法可靠性强,测量精确,但需对灾害现场进行实时检测;软件模拟法充分利用现场信息,清晰、直观,但需要掌握现场大量信息。

2.1.3 疏散范围的划分

由于人员在不同危险区域受到的伤害程度不同,在疏散过程中采取的措施也不同。为了区分不同危险区域疏散方式以及采取措施的差异,将其划分为紧急避难区、协助疏散区、引导疏散区和自主疏散区四个区域,并依次对应事故现场危害区域的致死区、重伤区、轻伤区和吸入反应区。其中,处于紧急避难区的人员,应该优先利用现有的避难场所,采取“就地避难”措施,积极等待救援;处于协助疏散区的人员,可以根据现场实际情况,采取“就地避难”或者选择最佳疏散路径快速撤离事故现场,受伤严重的人员,可利用担架或者背、抬、抱等方式协助疏散;处于引导疏散区的人员,应在引导人员的指导下,选择最佳疏散路径快速撤离事故现场;处于自主疏散区的人员,应立即采取疏散行动,自主地进行疏散。

2.2 疏散人员

2.2.1 影响疏散人员的因素

在确定疏散人员时,应充分考虑疏散人员受

到伤害程度。疏散人员受伤害程度的大小由受灾人员所处区域的毒气浓度和滞留时间两个参数决定的。卫生学资料证明:毒气对人员的伤害程度与毒气浓度和滞留时间成正比。在一定浓度的危险区域内,人员滞留时间越长,受到的伤害就会越大。即使在浓度很低的情况下,经过足够时间的有毒物质在人员体内的积累,也会给被困人员带来巨大的伤害、甚至死亡。同时,受灾人员具有一定的自防、自救能力,对于减少人员被毒气伤害的影响、最大限度等待救援也具有十分重要的意义。除此之外,疏散人员的心理素质、年龄、性别、生理、教育水平、对整个疏散环境的熟悉程度以及对救援人员的服从性等行为特征对疏散行动也有直接影响。因此,确定疏散人员,不仅要考虑其所处的危险区域,还要考虑人员在现场滞留的时间、人员的安全防护水平及人员的行为特征等因素。

2.2.2 标准疏散量

由于不同疏散分区采用的疏散方式不同,为了简化计算,本文考虑全部采用应急疏散。此外,不同人员的疏散效率也是不同的。为了区别不同人群通行能力对疏散时间的影响,引入标准疏散量的概念。由于救援过程中的疏散行动是在有经验的救援人员引导和协助下进行的,本文只考虑不同人员的性别、年龄、个人体能对通行能力的影响。由于每个人的体质不同,计算不可能具体到每个人,可根据人的性别、年龄将人群分为老人、妇女、中年男子和小孩。以中年男子的通行能力 $k=1$,推算出老人的通行能力为 0.6,妇女的通行能力为 0.8,小孩的通行能力为 0.7。则标准疏散量的计算见公式(1)。

$$N = \frac{1}{k} n \quad (1)$$

式中 N ——标准疏散量;

k ——不同人群的通行能力系数;

n ——实际疏散人群数。

2.3 疏散路径

2.3.1 疏散路径的类型

疏散路径是将受灾人员从危险区域转移到达避难场所的路径。根据灾情的发展及其对疏散路径的影响,疏散路径可分为理想的疏散路径、可行的疏散路径和逃生的疏散路径 3 种类型。其中,理想的疏散路径是没有受到灾情影响的疏散路径,一般为处于吸入反应区及其以外区域;可行的疏散路径是指一定安全条件的路径,当所有的疏散路径都无法保证在理想条件下时,可选泄

漏气体扩散密度不足以威胁到人员生命安全的路径作为疏散路径,一般为轻伤区和重伤区所在的疏散路径。逃生的疏散路径则以人类对危险化学品的最大耐受能力作为判别的条件。

2.3.2 疏散路径的当量长度

在危险化学品泄漏事故中,一般来说,受灾人员所处的疏散区域不同,疏散路径的通行难易程度也不同,这对疏散过程有直接影响。为了直接比较疏散路径的差异,一般要对疏散路径加以修正,因此引入当量长度的概念。所谓当量长度是指对疏散路径引入修正系数,使之与疏散路径的实际长度 l 相乘得到的长度。影响当量长度的主要因素包括疏散路径的通行难易程度和受灾人员所处的危险区域。其中,疏散路径的通行难易程度系数用 q 表示,其计算见公式(2)。

$$q = v_1 / v_2 \quad (2)$$

式中 q ——疏散路径的通行难易程度系数;

v_1 ——人或车辆在一般公路上的通行速度;

v_2 ——人或车辆在疏散路径上的通行速度。

本文主要研究受灾人员以徒步的方式疏散,人在正常情况下的平均速度为 1.4m/s ,在疏散路线上的平均通行速度为 1.0m/s 。因此,受灾人员在疏散路线上的通行难易系数 q 为 1.4 。

疏散路径的危险系数用 ω 来表示,其值取决于受灾人员所处的危险区域,具体取值如表 1 所示。

表 1 不同区域危险系数 ω 取值

危险区域	致死区	重伤区	轻伤区	吸入反应区
危险系数 ω	10000	1000	100	10

因此,疏散路径的当量长度为疏散路径的实际长度和通行难易程度系数以及危险系数的乘积,从疏散区域到避难场所的疏散路径的当量长度的计算公式见公式(3)。

$$l = q \times \omega \times l_s \quad (3)$$

式中 l ——疏散路线的当量长度, m;

q ——疏散路径的通行难易程度系数;

ω ——疏散路线的危险系数;

l_s ——疏散路线的实际长度, m。

2.3.3 疏散路径的选择

作为疏散路径,应力求使受灾人员在疏散过程中受到危险化学品伤害最低;同时,应力求使受灾人员花费最短的时间到达避难场所。这就要求疏散路径具有路径短、易通行等特点。因此,在危险化学品泄漏事故中,应尽量选择可行的疏

散路径,不可避免时,也应优先照顾处于逃生路径区域内的受灾人员进行疏散。

为了快速、安全地把受灾人员疏散出来,必须在这些路径中选择最佳的疏散路径。最佳疏散路径实质上是最安全的疏散路径,最安全的疏散路径既不是疏散时间最短的路径,也不是长度最短的路径。本文选取当量最短路线作为最佳疏散路径,即在疏散路径上求解当量最短路径。国内外常用局部最优法、全枚举法、狄克斯特拉算法以及遗传算法等求解最短路径。由于疏散路径的选择实际上是一个多阶段决策过程。动态规划法是解决具有动态性质多阶段决策过程的最优化问题的理论和方法。本文采用动态规划法求解最短疏散路径。动态规划法求解当量最短路径的基本思想是:首先根据危险化学品泄漏扩散的疏散区域的不同,把人员的疏散问题划分为 4 个阶段,从过程的最后阶段开始考虑,然后逆着实际发展过程的顺序,逐段向前递推计算直至起始点,从而在各个疏散区域内寻找当量最散路径。采用逆序解法求解阶段当量最短路径的计算见公式(4)。

$$\begin{cases} f_k(x_k) = \min_{u_k} \{v_k(x_k, u_k) + f_{k+1}(x_{k+1})\} \\ f_{n+1}(x_{n+1}) = 0 \quad k = n, n-1, \dots, 2, 1 \end{cases} \quad (4)$$

式中 $f_k(x_k)$ ——第 k 阶段 x_k 状态所作决策为 u_k 时的目标函数;

$f_k(x_k)$ —— k 阶段的状态变量;

u_k ——阶段 k 状态 x_k 时的决策变量;

$v_k(x_k, u_k)$ ——状态转移方程。

2.4 避难场所

疏散工作的真正完成是以疏散人员安全抵达避难场所为标志的。制定疏散决策必须考虑什么地方可以作为避难场所。危险化学品泄漏事故发生后,需要疏散的人员数量大,在相当一段时间内无法返回居所。因此,必须选择安全且具备足够容纳能力的地方作为避难场所。

一般来说,避难场所的选择应遵循的原则是:①避难场所应围绕危险区域呈离散分布,以使危险区域内的疏散人员就近快速到达,但事故点下风向区域不适宜作为避难场所;②避难场所应距危险区域有一定距离,要充分考虑事故的持续时间较长或者风向有可能会改变而波及到避难场所等情况;③应具备为大量疏散人员提供最基本生活条件保障的能力。若疏散人员在避难场所停留时间较长,应具有饮食、住宿、医疗等相关事宜的后勤保障工作的能力。基于上述原则,宽

阔的、容纳人员数量多的公园、学校、工厂或企事业单位等可以作为危险化学品泄漏事故的临时避难场所。

3 应用举例

3.1 事故基本情况

2011 年 8 月 5 日晚 21 时，一辆承载液氯的槽罐车，从河北省某市市郊的 A 化工厂运输至市区的 B 企业途中发生泄漏事故。槽罐车的车长 12m，罐体直径 2.4m，罐内液态介质温度为 25℃，额定载质量 15t，实际载有量为 30t。当日气象状况是晴转多云，气温 18~31℃，平均气温 25℃，相对湿度为 65%，东南风 1~2 级，风速 1.0~3.2m/s，平均风速 1.8m/s，天空约 50%有云，测量高度为 3m。事发现场周围有村庄、学校、居民区，附近有自然公园和文化广场。

3.2 应急疏散范围的模拟

应用 ALOHA 软件，模拟氯气泄漏扩散的危害区域，并依据吸入反应区边界确定应急疏散范围，具体结果如图 1 所示。

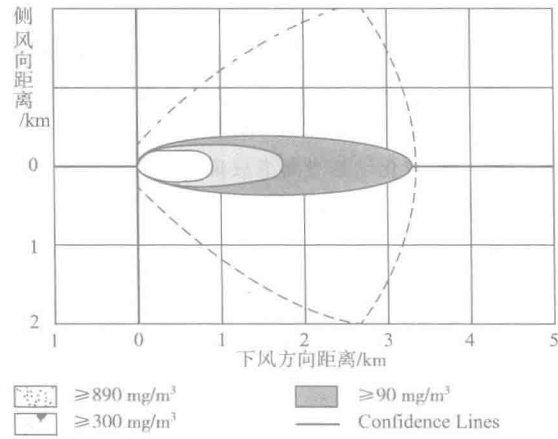


图 1 液氯槽罐车泄漏事故应急疏散范围示意图

3.3 疏散人员的确定

处在危险区域的人员是采取“就地避难”还是“应急疏散”，主要是考虑了现场村庄 S、学校 A2、村庄 A3、居民区 B1 等几个敏感点在事故发生 60min 内的室内外氯气浓度变化趋势。以村庄 S 为例，应用 ALOHA 软件，模拟 60min 内居民室内、室外氯气浓度变化。由于该村离事故点较近，室外氯气浓度在泄漏后的几分钟内迅速升高，并随着泄漏的延续持续升高。因此，在事故的初期，室外的人员应立即进入室内，关闭门窗，就地避难；同时，由于该村居民住房比较简陋，密闭性不好，只能作为短时间的临时隐蔽场所。因此，当救援力量到场后，在做好安全防护

的基础上，再进行应急疏散。

根据受灾人员所处的危险区域和村庄 S、学校 A1、村庄 A3、居民区 B1 等几个敏感点的室内、外氯气度变化趋势。若救援力量充足，可以考虑将处在上述区域内的人员全部疏散出来。结合上述区域的人员数量及类型，根据公式(1)可以，将上述人员转化为标准疏散量，具体结果如表 2 所示。

表 2 不同疏散地的标准疏散量 人

疏散地	村庄 S	学校 A1	村庄 A3	居民区 B1
标准疏散量	6700	2900	4300	39600

3.4 疏散路径的选择

事故现场局部交通情况如图 2 所示，疏散人员所经过的道路节点用 S、A1、A2、A3、B1、B2、C1、C2、T1、T2 表示。其中，节点 S 为发生泄漏的液氯储罐车，节点 T1 是避难场所自然公园，T2 是避难场所文化广场。两节点间用带箭头的直线连接，其上数字代表路径实际长度。根据危险化学品泄漏危险区域的不同，把人员疏散问题划分为 4 个阶段，即从泄漏源到致死区边界，致死区边界到重伤区边界，重伤区边界到轻伤区边界，轻伤区边界到吸入反应区 4 个阶段。其中节点 A1、A2、A3 处于致死区边界曲线上，节点 B1、B2 处于重伤区边界曲线上，节点 C1、C2 处于轻度区边界曲线上。

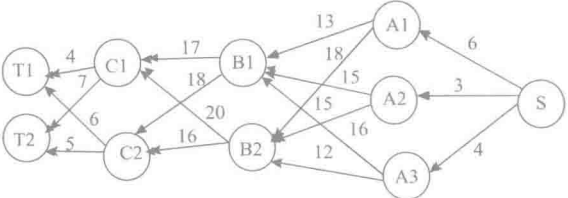


图 2 事故现场交通网络图示意图

根据疏散路径的实际长度和疏散区域的通行难易系数和危险系数，利用公式(3)，可以计算出各个阶段的疏散路径的当量长度。利用公式(4)，采用 Lingo 优化软件，求解各阶段的当量最短路径，具体结果如表 3 所示。

由于危险化学品疏散过程中某些因素的不可预测性，得到的当量最短路径有可能由于危险化学品扩散方向的改变而成为不可通行的路径，这时单一的当量最短路径解决不了问题，而应寻找 k 条当量最短路线，当第一最短路径行不通时，可以选用第二或第三条最短路径，即 k 条最佳疏散路径。