

全国公安高等教育（本科）规划教材
公安部政治部 组编



防排烟技术

杜红 主编



中国人民公安大学出版社

全国公安高等教育（本科）规划教材
公安部政治部 组编

防排烟技术

杜 红 主编

中国人民公安大学出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

防排烟技术/杜红主编. —北京: 中国人民公安大学出版社, 2014. 8
全国公安高等教育 (本科) 规划教材

ISBN 978-7-5653-2002-6

I. ①防… II. ①杜… III. ①防排烟—防护工程—高等学校—教材
IV. ①TU761.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 205351 号

防排烟技术

杜 红 主编

出版发行: 中国人民公安大学出版社

地 址: 北京市西城区木樨地南里

邮政编码: 100038

经 销: 新华书店

印 刷: 北京蓝空印刷厂

版 次: 2014 年 8 月第 1 版

印 次: 2014 年 11 月第 2 次

印 张: 13.25

开 本: 787 毫米×1092 毫米 1/16

字 数: 275 千字

书 号: ISBN 978-7-5653-2002-6

定 价: 45.00 元

网 址: www.cppsups.com.cn www.porclub.com.cn

电子邮箱: zbs@cppsup.com zbs@cppsu.edu.cn

营销中心电话: 010-83903254

读者服务部电话 (门市): 010-83903257

警官读者俱乐部电话 (网购、邮购): 010-83903253

教材分社电话: 010-83903259

本社图书出现印装质量问题, 由本社负责退换
版权所有 侵权必究

全国公安高等教育（本科）规划教材

编审委员会

主 任：夏崇源

副主任：樊京玉 黄 进 谢维和

程 琳 王世全 崔芝崑

委 员：（按姓氏笔画排序）

马维亚 王 刚 伊良忠 刘玉庆

刘冠华 闫继忠 许剑卓 孙茂利

杜兰萍 李 娟 李锦奇 杨 东

杨 钧 吴钰鸿 吴跃章 张文彪

张兆端 张俊海 张高文 陈 勇

陈延超 武冬立 林少菊 战 俊

奚路彪 高 峰 郭 宝 曹诗权

程人华 程小白 傅国良 熊文修

滕 健

编委会办公室：

陈延超（兼） 周佩荣 屈 明

杨益平 曾 惠

主 编 简 介

杜 红，女，1986年毕业于西北建筑工程学院供热、通风与空气调节专业，工学学士。现任中国人民武装警察部队学院消防指挥系灭火技术教研室主任，副教授。主要从事消防专业防排烟技术的教学与科研工作。

全国公安高等教育（本科）规划教材

防排烟技术

主 编：杜 红

副主编：沈 纹 刘建民

撰稿人：（按姓氏笔画排序）

刘建民 杜 红 杨志增 李思成

沈 纹 徐 晖 梁 强

前 言

教材是体现教学内容和教学方法的知识载体,是联系教与学的有效媒介。教材建设是公安教育训练的基础性工作,是实现公安院校教育现代化、提高教学质量的一项基本措施。改革开放以来,我们根据公安院校教学工作需要,先后组织编写了近200种公安院校专业课和专业基础课教材,为培养高素质的公安人才提供了有力支撑。近年来,我国执法环境和执法依据发生了深刻变化,公安理论和实践创新有了长足进步,公安高等教育实现了跨越式发展,原有统编教材难以满足现实需要,亟须重新编写。对此,公安部党委十分重视,郭声琨部长、杨焕宁常务副部长专门作出指示,成立了由公安部党委委员、政治部主任夏崇源任主任委员的教材编审委员会,并在京召开了工作部署会推动教材编写工作顺利有序进行。

本套教材是公安院校的本科教学用书,也是公安民警培训、自学的母本教材或指导性用书,涵盖侦查、治安、经济犯罪侦查、交通管理工程、刑事科学技术、禁毒、网络安全与执法、公安视听技术、警务指挥与战术、边防管理、消防工程等公安类本科专业,共计110种教材,是公安高等教育史上规模最大、涉及最广的一次教材建设工程。

本套教材以培养应用型公安专门人才为目标,以习近平总书记系列重要讲话为指南,坚持院校专家学者与实务部门骨干相结合,深入基层、融入实战、贴近一线,在充分吸纳教学科研成果和警务实践成功经验的基础上编写而成。教材在内容上主要突出公安理论的基础性和公安工作的实践性,在阐述公安各学科基本原理的同时,注重实践运用能力的培养,既兼顾了学科专业的系统性,又强调了警务实战的特殊性。在

体例规范上，既相对统一，又预留空间，鼓励学术上的研究和探讨，利于学生展开更深的探究。

本套教材是在公安部政治部的统一领导下分组集体编写而成的。为保证教材内容贴近实战，我们遴选了部分警务实战骨干参与编写工作。各门教材由编写组精心组织、反复论证、集思广益完成初稿，最后经有关实战部门业务专家和部分社会相关领域知名专家学者审核后定稿。

我们相信，经过组织者、编写者、出版者的共同努力，全国公安高等教育（本科）规划教材能够以体系完整、内容丰富、贴近实战、形式新颖的精品特质，服务公安院校的教学和广大民警自学，为培养高素质、高水平的应用型公安专门人才发挥重要作用。

公安部政治部
2014年8月

编写说明

《防排烟技术》教材是根据对应课程建设的总体规划和贴近消防部队的实战需要,按照“消防指挥”和“消防工程”两个本科专业方向进行编写的。在吸收原“人民警察高等教育规划教材”《防排烟工程》丰富的基础理论知识的前提下,在消防指挥专业方向深化与拓展了火场移动烟气控制技术、特殊场合的烟气控制技术等方面的知识;在消防工程专业方向增加了防排烟系统运行与控制、防排烟工程的审核和验收等方面的知识。

本教材系统地叙述了防排烟工程的基础理论、建筑物常用的防排烟设施和国内外的相关先进技术。主要内容包括:绪论、火灾烟气的流动规律与控制方式、自然排烟、机械排烟、机械防烟、防排烟系统运行与控制、火场移动烟气控制技术、防排烟工程的审核与验收以及特殊场合的烟气控制技术。

本教材力求在阐明防排烟技术基本理论知识的基础上,以解决实际火场烟气控制过程中存在的问题为主要目的,尽量做到理论联系实际,使学员能够进行防排烟工程设计、审核、验收,着眼于提高学员运用火场烟气控制技术指挥、救人、灭火的实战能力和综合素质。

本教材在编写过程中,参考了国内同行专家们的一些著作及科研成果、各类防排烟工程资料,同时也吸取了一些国外建筑防排烟设计方面的有益经验;征求了公安部消防局和部分省(市)公安消防总队的意见,他们对本教材的编写工作也给予了大力支持,并提出了许多宝贵意见。谨此一并表示衷心的感谢。本教材既可作为消防专业教学用书,也可作为消防安全监督人员及有关建筑设计、施工技术人员参考用书。

本教材由中国人民武装警察部队学院消防指挥系灭火技术教研室主任杜红副教授担任主编,公安部消防局法规标准处副处长沈纹高级工程师、中国人民武装警察部队学院刘建民副教授担任副主编。具体的编写分工如

下：李思成副教授编写第一章，第二章第一～四节；杜红编写第三章第三、四节，第四章第四节，第五章；刘建民编写第三章第一、二节，第六章，第七章第一、三、四节；杨志增讲师编写第七章第二节，第八章；梁强讲师编写第二章第五节，第四章第一～三节，第九章第一、二节；徐晖讲师编写第九章第三、四节。全书由杜红统稿，沈纹审阅了编写大纲和书稿。

近年来，随着消防科学技术的快速发展，防排烟技术理论基础与实际应用也正在不断得到完善和提高。限于水平和条件，调查研究工作做得还不够深入，对于疏漏甚至错误之处，敬请广大读者多提宝贵意见。

《防排烟技术》编写组

2014年8月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 火灾烟气的组成	(1)
第二节 火灾烟气的危害性	(3)
第三节 火灾烟气控制的地位与作用	(7)
第二章 火灾烟气的流动规律与控制方式	(10)
第一节 火灾烟气的特性	(10)
第二节 火灾烟气的扩散驱动力	(16)
第三节 火灾烟气的流动过程	(19)
第四节 火灾烟气的控制方式	(27)
第五节 防烟分区	(30)
第三章 自然排烟	(38)
第一节 概述	(38)
第二节 自然排烟的基本原理	(43)
第三节 自然排烟口的设置与选型	(49)
第四节 自然排烟系统的设计	(53)
第四章 机械排烟	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 机械排烟量的确定	(63)
第三节 排烟设备及附件的设置与选型	(66)
第四节 机械排烟系统的设计	(78)
第五章 机械防烟	(83)
第一节 概述	(83)
第二节 气流通路的计算	(88)
第三节 加压送风量的确定	(93)

◎防排烟技术

第四节	送风设备及附件的设置与选型·····	(97)
第五节	机械防烟系统的设计·····	(105)
第六章	防排烟系统运行与控制·····	(115)
第一节	防烟系统的运行与控制·····	(115)
第二节	排烟系统的运行与控制·····	(119)
第三节	运行与控制注意事项·····	(122)
第七章	火场移动烟气控制技术·····	(125)
第一节	移动排烟技术·····	(125)
第二节	排烟消烟技术·····	(133)
第三节	破拆排烟技术·····	(136)
第四节	移动送风技术·····	(142)
第八章	防排烟工程的审核与验收·····	(149)
第一节	防排烟设计的审核·····	(149)
第二节	防排烟工程的验收·····	(153)
第三节	防排烟工程审核与验收实例·····	(159)
第九章	特殊场合的烟气控制技术·····	(163)
第一节	地铁车站烟气控制技术·····	(163)
第二节	中庭建筑烟气控制技术·····	(173)
第三节	隧道烟气控制技术·····	(179)
第四节	大空间烟气控制技术·····	(187)
主要参考文献·····		(197)

第一章 绪 论

【教学重点与难点】

教学重点：火灾烟气的定义；火灾烟气的成分；火灾烟气的危害性。

教学难点：火灾烟气减光的原因；火灾烟气控制的主要作用。

火给人类带来了文明、光明和温暖，而火灾也给人类的生命财产带来巨大的危害。“国际消防技术委员会”对全球火灾调查统计表明，每年发生 600 万~700 万起火灾，大约有 65000~75000 人在火灾中丧命。国内外大量火灾案例统计表明，因火灾而伤亡者中，大多数为烟气危害致死。火灾中受烟气危害致死的约占 $1/3 \sim 2/3$ ，因火烧死的约占 $1/3 \sim 1/2$ ，而且火烧死中也是多数先中毒晕倒而后烧死。由此可见，火灾烟气的危害性多么严重。了解火灾烟气的组成与危害是防排烟设计的重要基础，本章主要介绍火灾烟气的组成与危害。

第一节 火灾烟气的组成

一、火灾烟气的生成

火灾烟气的生成与燃烧工况有着密切的关系。对于正常的燃烧工况，燃烧条件得到良好的保证，燃烧进行得比较完全，所生成的产物都不能再燃烧，这种燃烧称为完全燃烧，其燃烧产物称为完全燃烧产物。在完全燃烧的状态下，燃烧产物主要以气态形式存在，其成分主要取决于可燃物的组成和燃烧条件。

对于非正常的燃烧工况，没有良好的燃烧条件，燃烧进行得不完全，称为不完全燃烧，相应的燃烧产物称为不完全燃烧产物。在不完全燃烧的状态下，燃烧产物含有醇、醚等有机化合物。这些燃烧产物多为有毒气体，对人体的呼吸系统、循环系统、神经系统会造成不同程度的伤害，影响人的正常呼吸和安全疏散。由于建筑物发生火灾时的场合属于受限火灾，并且有喷淋系统或者外在介质参与灭火，其燃烧属于不完全燃烧。

燃烧反应通常伴有产生火焰、发光和发烟的现象。在物质燃烧过程中往往还伴随着热分解反应。热分解是由于温度升高而发生的无氧化作用的不可逆化学分解。在

一定的温度下,燃烧反应的速度并不快,但热分解的速度却很快。这种热分解反应没有火焰和发光现象,但却有发烟现象。热分解的产物往往和燃烧产物掺混在一起,很难区分。由此可知,火灾烟气是燃烧和热分解产物的混合物,是由可燃物燃烧和热解所生成的气体以及悬浮在其中的可见的固体、液体微粒及剩余空气的总称。

在火灾扑救过程中,由于采取不同的措施和灭火剂,也会相应产生一些不同的气体。一般情况下采用水扑救时,只产生大量的水蒸气,但如果某些燃烧物质本身与灭火剂能起化学反应时,会产生一些其他有害物质,如硫化氢、二氧化硫等,严重时会造成扑救人员中毒伤亡事故,这在历史上是有沉痛教训的。

二、火灾烟气的成分

火灾烟气的成分和性质首先取决于发生热解和燃烧的物质本身的化学组成,其次还与燃烧条件有关。所谓燃烧条件是指环境的供热条件、环境的空间时间条件和供氧条件。由于火灾时参与燃烧的物质比较复杂,尤其是发生火灾的环境条件千差万别,所以火灾烟气的组成也相当复杂。不过,就总体而言,火灾烟气由热解和燃烧所生成的气(汽)体、悬浮微粒及剩余空气三部分组成。

(一) 热解和燃烧所生成的气(汽)体

大部分可燃物质都属于有机化合物,其主要成分是碳、氢、氧、硫、磷、氮等元素。在一般温度条件下,氮在燃烧过程中不参与化学反应而呈游离状态析出,而氧作为氧化剂在燃烧过程中消耗掉了。碳、氢、硫、磷等元素则与氧化合生成相应的氧化物,即二氧化碳、一氧化碳、水蒸气、二氧化硫和五氧化二磷等。此外,还有少量氢气和碳氢化合物产生。

在现代建筑内,装修复杂,各种室内用品及家具越来越多。除了一些室内家具和门窗采用木质材料外,其余大量的装修材料、家具和用品采用高分子合成材料,如建筑塑料、高分子涂料、聚苯乙烯泡沫塑料保温材料、复合地板、环氧树脂绝缘层、化纤制的家具、沙发和床上用品等。这些高分子合成材料的燃烧和热解产物比单一的木质材料要复杂得多。

(二) 热解和燃烧所生成的悬浮微粒

火灾烟气中热解和燃烧所生成的悬浮微粒,称为烟粒子。这些微粒通常包括游离碳(炭黑粒子)、焦油类粒子和高沸点物质的凝缩液滴等。这些固态或液态的微粒,悬浮在气相中,随其飘流。由于烟粒子的性质不同,所以在火灾发展的不同阶段,烟气的颜色亦不同。在起火之前的阴燃阶段,由于干馏热分解,主要产生的是些高沸点物质的凝缩液滴粒子,烟气颜色常呈白色或青白色;而在起火阶段,主要产生的是炭黑粒子,烟气颜色呈黑色,形成滚滚黑烟。

(三) 剩余空气

在燃烧过程中,没有参与燃烧反应的空气称为剩余空气。如果把理论上单位质量物质完全燃烧时所必需的空气量定义为理论空气量 V_0 ,那么,燃烧时所供给的

实际空气量 V 与理论空气量 V_0 之比,称为剩余空气率或过量空气系数 α ,即

$$\alpha = \frac{V}{V_0} \quad (1-1)$$

显然,当 $\alpha > 1$ 时,空气过剩;而 $\alpha < 1$ 时,空气不足。

实际着火房间中的燃烧过程往往是在氧气不足的情况下进行的,如果由于某种因素改善其供氧条件,火势就会扩大。所以,在火灾扑救活动中,控制供氧甚至隔绝氧气是经常采用的措施。这就是说,着火房间内产生的烟气在一般情况下并没有剩余空气,但是,一旦门、窗玻璃破碎或房门被打开,大量空气涌进着火房间时,就会存在剩余空气。

应当指出,当着火房间内的烟气窜出房门流到走廊或没有发生火灾的房间时,将很快与周围的空气混合,成为烟气与空气的混合气体,这部分空气不应看作火灾烟气生成过程中的剩余空气。

第二节 火灾烟气的危害性

火灾烟气的危害性可概括为缺氧、中毒、减光、尘害和高温几个方面。

一、缺氧

氧是人体进行新陈代谢的关键物质,是人体生命活动的第一需要。当空气中含氧量降低到 15% 时,人的肌肉活动能力下降;降到 10%~14% 时,人就四肢无力,智力混乱,辨不清方向;降到 6%~10% 时,人就会晕倒。所以,对于处在着火房间内的人们来说,氧气的短时致死浓度为 6%。由于燃烧消耗了大量的氧气,使得火灾烟气中的含氧量往往低于生理上所需的正常数值。日本在 1962 年和 1975 年先后两次进行的实体火灾实验所得到的着火房间内的气体成分如图 1-1 所示。

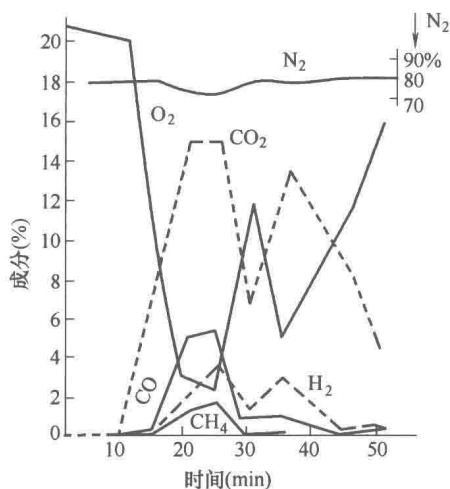


图 1-1 着火房间内气体成分变化曲线

由图可见,在爆燃发生之前, O_2 的浓度一直保持在 20%~21% 左右,而在爆燃最盛期, O_2 的浓度只有 3% 左右。这就是说,当着火房间 O_2 的浓度低于 6% 时,在短时间内人们将因缺氧而窒息死亡。即使含氧量在 6%~14% 之间,虽然不会短时死亡,也会因失去活动能力和智力下降而不能逃离火场最终被火烧死。由此可见,在实际的着火房间中,烟气的含氧量往往低于人们生理正常所需要的数值,氧

气的最低浓度只有 3%左右。所以,在发生火灾时,建筑内人员如不及时逃离火场是十分危险的。

二、中毒

建筑火灾中可燃物的种类繁多,既包括各种木质材料、纸张、羊毛、丝绸等天然材料,又包括各种塑料、橡胶等高分子合成材料,加上燃烧状况千变万化,因而可以生成多种有毒气体。这些气体的含量如超过人们生理正常所允许的最低浓度,就会造成人们中毒死亡。目前,已知的火灾中有毒气体的种类或有毒气体的成分有数十种,包括无机类有毒有害气体(CO、CO₂、NO_x、HCl、HBr、H₂S、NH₃、HCN、P₂O₅、HF、SO₂等)和有机类有毒有害气体(光气、醛类气体、氰化氢等)。火灾时各种可燃物质燃烧生成的有毒气体的种类见表 1-1。

表 1-1 各种可燃物质燃烧时生成的有毒气体

物质名称	燃烧时生成的主要有毒气体
木材、纸张	二氧化碳、一氧化碳
棉花、人造纤维	二氧化碳、一氧化碳
羊毛	二氧化碳、一氧化碳、硫化氢、氨、氰化氢
聚四氟乙烯	二氧化碳、一氧化碳
聚苯乙烯	苯、甲苯、二氧化碳、一氧化碳、乙醛
聚氯乙烯	二氧化碳、一氧化碳、氯化氢、光气、氯气
尼龙	二氧化碳、一氧化碳、氨、氰化物、乙醛
酚树脂	一氧化碳、氨、氰化物
三聚氢胺-醛树脂	一氧化碳、氨、氰化物
环氧树脂	二氧化碳、一氧化碳、丙醛

各种有毒气体对人体的危害为:

(一) 一氧化碳(CO)对人的影响

CO是火灾烟气中体积分数最高的一种有毒气体,也是造成火灾中人员死亡的主要因素之一。火灾事故中,死于CO的毒性作用的人数占死亡总人数的40%以上。CO的主要毒害作用在于其与血红蛋白结合生成碳氧血红蛋白,而极大削弱了血红蛋白对氧气的结合力,使血液中氧气的含量降低,致使供氧不足,阻碍血液把氧送到人体各部分。人体暴露于不同CO浓度中产生的生理症状见表 1-2。

表 1-2 CO 浓度与暴露症状

CO 暴露浓度(ppm)	暴露时间(min)	症状
50	360~480	不会出现副作用的临界值
200	120~180	可能出现轻微头疼
400	60~120	头疼、恶心
600	45	头疼、头昏、恶心
	120	瘫痪或可能失去知觉
1000	60	失去知觉

续表

CO 暴露浓度(ppm)	暴露时间(min)	症状
1600	20	头疼、头昏、恶心
3200	5~10	头疼、头昏
	30	失去知觉
6400	1~2	头疼、头昏
	10~15	失去知觉,有死亡危险
12800	1~3	即刻出现生理反应,失去知觉,有死亡危险

(二) 氢化氰 (HCN) 对人体的影响

HCN 为无色、略带杏仁气味的剧毒性气体，其毒性约为 CO 的 20 倍。HCN 是由含氮材料燃烧生成的，这类材料包括天然材料和合成材料，如羊毛、丝绸、尼龙、聚氨酯二聚物及尿素树脂等，尤其是棉花的阴燃。HCN 是一种毒性作用极快的物质，它虽然基本上不与血红蛋白结合，但却可以抑制人体中酶的生成，阻止正常的细胞代谢。HCN 浓度与中毒症状见表 1-3。

表 1-3 HCN 浓度与中毒症状

HCN 暴露浓度(ppm)	暴露时间(min)	症状
18~36	>120	轻度症状
45~54	30~60	损害不大
110~125	30~60	有生命危险或致死
135	30	致死
181	10	致死
270	<5	立即死亡

随着大量塑料被当作装饰材料使用，火灾中 HCN 气体对人体的毒害作用越来越引起人们的重视。通过研究火灾中死难者的血液，人们发现，有 30% 以上的人员死亡是 HCN 中毒所致。

(三) 其他毒性气体对人的影响

木材制品燃烧产生的醛类，聚氯乙烯燃烧产生的氢氯化合物都是刺激性很强的气体，甚至是致命的。例如，烟气中含有 5.5ppm 的丙烯醛时，会对上呼吸道产生刺激症状；如浓度在 10ppm 以上时，就能引起肺部的变化，数分钟内即可死亡，它的允许浓度为 0.1ppm。而木材燃烧的烟气中丙烯醛含量高达 50ppm 左右，加之烟气中还有甲醛、乙醛、氢氧化物、氢化氰等毒气，对人体都是极为有害的。

随着高分子合成材料在建筑、装修以及家具制造中的广泛应用，火灾所产生的烟气毒性更加严重。

三、减光

可见光的波长为 0.4~0.7μm，一般火灾烟气中烟粒子粒径为几微米到几十微