

XIAOFANG GONGCHENG XILIE

XIAOFANG GONGCHENG XILIE

XIAOFANG GONGCHENG XILIE

高等教育安全工程系列“十一五”规划教材
消防工程专业系列规划教材



防排烟工程

徐志胜 姜学鹏 主编
霍 然 主审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等教育安全工程系列“十一五”规划教材
消防工程专业系列规划教材

防 排 烟 工 程

主编	涂志胜	姜学鹏	
参编	白国强	裴 蓓	张村峰
	邓权威	吴奉亮	涂艳英
	汪 鹏	崔 飞	庄炜茜
	郭 辉	杨淑江	李志峰
	周 庆	吕 洋	高仕琦
主审	霍 然		

机械工业出版社

安全工程专业教材编审委员会

主任委员：冯长根

副主任委员：王新泉 吴 超 蒋军成

秘 书 长：季顺利

委 员：(排名不分先后)

冯长根 王新泉 吴 超 蒋军成 季顺利 沈斐敏

钮英建 霍 然 孙 熙 王保国 王述洋 刘英学

金龙哲 张俭让 司 鹤 王凯全 董文庚 景国勋

柴建设 周长春 冷 彬

安全工程专业教材序

“安全工程”本科专业是在1958年建立的“工业安全技术”、“工业卫生技术”和1983年建立的“矿山通风与安全”本科专业基础上发展起来的。1984年，国家教委将“安全工程”专业作为试办专业列入普通高等学校本科专业目录之中。1998年7月6日，教育部发文颁布《普通高等学校本科专业目录》，“安全工程”，本科专业（代号：081002）属于工学门类的“环境与安全类”（代号：0810）学科下的两个专业之一。据“高等院校安全工程专业教学指导委员会”1997年的调查结果显示，自1958~1996年底，全国各高校累计培养安全工程专业本科生8130人。近年，安全工程本科专业得到快速发展，到2005年底，在教育部备案的设有安全工程本科专业的高校已达75所，2005年全国安全工程专业本科招生人数近3900名。

按照《普通高等学校本科专业目录》（1998）的要求，原来已设有与“安全工程专业”相近但专业名称有所差异的高校，现也大都更名为“安全工程”专业。专业名称统一后的“安全工程”专业，专业覆盖面大大拓宽。同时，随着经济社会发展对安全工程专业人才要求的更新，安全工程专业的内涵也发生很大变化，相应的专业培养目标、培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化，学生毕业后的执业身份是注册安全工程师。但是，安全工程专业的教材建设与专业的发展出现尚不适应的新情况，无法满足和适应高等教育培养人才的需要。为此，组织编写、出版一套新的安全工程专业系列教材已成为众多院校的翘首之盼。

机械工业出版社是有着50多年历史的国家级优秀出版社，在高等学校安全工程学科教学指导委员会的指导和帮助下，根据当前安全工程专业教育的发展现状，本着“大安全”的教育思想，进行了大量的调查研究工作，聘请了安全科学与工程领域一批学术造诣深、实践经验丰富的教授、专家，组织成立了“安全工程专业教材编审委员会”（以下简称“编审委”），决定组织编写“高等教育安全工程系列‘十一五’规划教材”。并先后于2004.8（衡阳）、2005.8（葫芦岛）、2005.12（北京）、2006.4（福州）组织召开了一系列安全工程专业本科教材建设研讨会，就安全工程专业本科教育的课程体系、课程教

学内容、教材建设等问题反复进行了研讨，在总结以往教学改革、教材编写经验的基础上，以推动安全工程专业教学改革和教材建设为宗旨，进行顶层设计，制订总体规划、出版进度和编写原则，计划分期分批出版近30余门课程的教材，以尽快满足全国众多院校的教学需要，以后再根据专业方向的需要逐步增补。

由安全学原理、安全系统工程、安全人机工程学、安全管理学等课程构成的学科基础平台课程，已被安全科学与工程领域学者认可并达成共识。本套系列教材编写、出版的基本思路是，在学科基础平台上，构建支撑安全工程专业的工程学原理与由关键性的主体技术组成的专业技术平台课程体系，编写、出版系列教材来支撑这个体系。

本系列教材体系设计的原则是，重基本理论，重学科发展，理论联系实际，结合学生现状，体现人才培养要求。为保证教材的编写质量，本着“主编负责，主审把关”的原则，编工委组织专家分别对各门课程教材的编写大纲进行认真仔细的评审。教材初稿完成后又组织同行专家对书稿进行研讨，编者数易其稿，经反复推敲定稿后才最终进入出版流程。

作为一套全新的安全工程专业系列教材，其“新”主要体现在以下几点：

体系新。本套系列教材从“大安全”的专业要求出发，从整体上考虑、构建支撑安全工程学科专业技术平台的课程体系和各门课程的内容安排，按照教学改革方向要求的学时，统一协调与整合，形成一个完整的、各门课程之间有机联系的系列教材体系。

内容新。本套系列教材的突出特点是内容体系上的创新。它既注重知识的系统性、完整性，又特别注意各门学科基础平台课之间的关联，更注意后续的各门专业技术课与先修的学科基础平台课的衔接，充分考虑了安全工程学科知识体系的连贯性和各门课程教材间知识点的衔接、交叉和融合问题，努力消除相互关联课程中内容重复的现象，突出安全工程学科的工程学原理与关键性的主体技术，有利于学生知识和技能的发展，有利于教学改革。

知识新。本套系列教材的主编大多由长期从事安全工程专业本科教学的教授担任，他们一直处于教学和科研的第一线，学术造诣深厚，教学经验丰富。在编写教材时，他们十分重视理论联系实际，注重引入新理论、新知识、新技术、新方法、新材料、新装备、新法规等理论研究、工程技术实践成果和各校教学改革的阶段性成果，充实与更新了知识点，增加了部分学科前沿方面的内容，充分体现了教材的先进性和前瞻性，以适应时代对安全工程高级专业技术

VI 防排烟工程

人才的培育要求。本套教材中凡涉及安全生产的法律法规、技术标准、行业规范，全部采用最新颁布的版本。

安全是人类最重要和最基本的需求，是人民生命与健康的基本保障。一切生活、生产活动都源于生命的存在。如果人们失去了生命，一切都无从谈起。全世界平均每天发生约 68.5 万起事故，造成约 2200 人死亡的事实，使我们确认，安全不是别的什么，安全就是生命。安全生产是社会文明和进步的重要标志，是经济社会发展的综合反映，是落实以人为本的科学发展观的重要实践，是构建和谐社会的有力保障，是全面建设小康社会、统筹经济社会全面发展的重要内容，是实施可持续发展战略的组成部分，是各级政府履行市场监管和社会管理职能的基本任务，是企业生存、发展的基本要求。国内外实践证明，安全生产具有全局性、社会性、长期性、复杂性、科学性和规律性的特点，随着社会的不断进步，工业化进程的加快，安全生产工作的内涵发生了重大变化，它突破了时间和空间的限制，存在于人们日常生活和生产活动的全过程中，成为一个复杂多变的社会问题在安全领域的集中反映。安全问题不仅对生命个体非常重要，而且对社会稳定 and 经济发展产生重要影响。党的十六届五中全会首次提出“安全发展”的重要战略理念。安全发展是科学发展观理论体系的重要组成部分，安全发展与构建和谐社会有着密切的内在联系，以人为本，首先就是要以人的生命为本。“安全·生命·稳定·发展”是一个良性循环。安全科技工作者在促进、保证这一良性循环中起着重要作用。安全科技人才匮乏是我国安全生产形势严峻的重要原因之一。加快培养安全科技人才也是解开安全难题的钥匙之一。

高等院校安全工程专业是培养现代安全科学技术人才的基地。我深信，本套系列教材的出版，将对我国安全工程本科教育的发展和高级安全工程专业人才的培养起到十分积极的推进作用，同时，也为安全生产领域众多实际工作者提高专业理论水平提供了学习资料。当然，由于这是第一套基于专业技术平台课程体系的教材，尽管我们的编审者、出版者夙兴夜寐，尽心竭力，但由于安全学科具有在理论上的综合性与应用上的广泛性相交叉的特性，开办安全工程专业的高等院校所依托的行业类型又涉及军工、航空、化工、石油、矿业、土木、交通、能源、环境、经济等诸多领域，安全科学与工程的应用也涉及到人类生产、生活和生存的各个方面，因此，本套系列教材依然会存在这样和那样的缺点、不足，难免挂一漏万，诚恳地希望得到有关专家、学者的关心与支持，希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提意见和建议。谨祝

本系列教材在编者、出版者、授课教师和学生的共同努力下，通过教学实践，获得进一步的完善和提高。

“鸢其鸣矣，求其友声”，高等院校安全工程专业正面临着前所未有的发展机遇，在此我们祝愿各个高校的安全工程专业越办越好，办出特色，为我国安全生产战线输送更多的优秀人才。让我们共同努力，为我国安全工程教育事业的发展作出贡献。

中国科学技术协会书记处书记
中国职业安全健康协会副理事长
中国灾害防御协会副会长
亚洲安全工程学会主席
高等学校安全工程学科教学指导委员会副主任
安全工程专业教材编审委员会主任
北京理工大学教授、博士生导师

冯长根

2006年5月

消防工程专业系列规划 教材编审委员会

主任：徐志胜

副主任：蒋军成 杜文峰 余明高

顾问：霍然 张树平

委员：(排名不分先后)

徐志胜 蒋军成 杜文峰 余明高 魏东

王旭 牛国庆 朱铁群 方正 田水承

秦富仓 周汝良 邓军 李耀庄 赵望达

韩雪峰 陈俊敏 白国强 刘义祥 路长

尤飞 蔡周全 贾德祥 张国友 李思成

王燕 王秋华 汪鹏 徐艳英 白磊

秘书长：姜学鹏

消防工程专业系列 规划教材序

1998年7月,教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》将消防工程归入工学门类,实行开放办学政策。开设消防工程专业的高等院校随之迅速增加,学生数量不断增长,形成了可喜的发展局面。随着我国社会的发展,以人为本的消防安全理念不断深入人心,对高素质消防工程专业人才的需求旺盛,消防工程专业已逐渐成为高等教育的热门专业之一。

与大好的专业发展形势不协调的是,目前,我国开设消防工程专业的普通高等院校,还没有一套系统、适用的专业系列教材。为满足学科发展的需求,提高消防工程专业高等教育的培养质量,组织编写、出版一套体系完善、结构合理、内容科学的消防工程专业系列教材势在必行,同时也是众多院校的共同愿望。

机械工业出版社是有着60年历史的国家级优秀出版社,也是国家教育部认定的规划教材出版基地。该社根据当前消防工程专业的发展现状,进行了大量的调研工作,协同较早前成立的安全工程专业教材编审委员会并在其指导下,聘请消防工程领域的一批学术造诣深、实践经验丰富的专家教授,成立了“消防工程专业系列规划教材编审委员会”(以下简称“编委会”),组织编写该专业系列教材。该社先后在西安(2008.11)、株洲(2010.3)、长沙(2010.10)组织召开了一系列消防工程专业本科教学研讨会,就消防工程专业本科教育的课程体系、课程内容、教材建设等问题进行了深入研讨,确定分阶段出版该专业系列教材,以尽快满足众多院校的教学要求与人才培养目标的需求。

本套系列教材的编写,本着“重基本理论、重学科发展、重理论联系实际”的教材体系建设原则,在强调内容创新的同时,要体现出学科体系的系统性、完整性、专业性等特点。同时,采取“编委会评审、主编负责、主审把关”的方式确保每本教材的编写质量。本套教材还积极吸纳消防工程的设

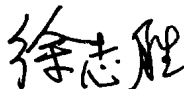
X 防排烟工程

计单位、施工单位和公安消防专业人士的实践经验，在理论联系实际方面较以往同类教材实现了较大突破，提高了教材的工程实用价值。

由于消防工程内容的广泛性和交叉性，开办消防工程专业的高校所依托的行业背景和领域不同，因此，本套系列教材依然会存在不足，诚恳希望得到有关专家、学者的关心和支持，希望选用本套教材的师生在使用过程中多提意见和建议。谨祝本系列教材通过教学实践，获得进一步的完善和提高。

高等院校消防工程专业正面临着前所未有的发展机遇，在此我们祝愿各个高校的消防工程专业办出水平、办出特色，为我国消防事业输送更多的优秀人才。

中国消防协会理事
消防工程专业系列规划教材建设编审委员会主任
中南大学教授、博士生导师



2011年6月

前 言

大量的火灾案例证明，烟气是火灾中造成人员伤亡的主要原因，有80%以上受害人是由于火灾烟气直接或间接致亡。科学合理地设计防排烟系统，对于减缓火灾蔓延、争取安全疏散时间有着十分重要的意义。近二三十年来，防排烟（或称烟气控制）问题已成为国际消防界和建筑设计领域重点关注的问题。

本书是在中南大学、河南理工大学、南京工业大学、华北水利水电学院、沈阳航空航天大学、西安科技大学、西南交通大学、西南林业大学等院校消防工程专业授课教案的基础上，结合防排烟工程设计人员和公安消防专业人士的工程实践编写而成的。本书紧紧围绕防排烟工程原理与设计，系统地阐述了火灾烟气的性质、火灾烟气流动与控制、防排烟管路系统计算、建筑防排烟系统设计，公路隧道防排烟系统设计，地铁防排烟系统设计，防排烟系统设备及联动控制，防排烟系统的施工、调试、验收、维护等内容，旨在加深读者对我国消防规范的理解和认识，提高其分析和解决消防防排烟工程中实际问题的能力。全书力求简洁清晰、通俗易懂，突出基础性、应用性和可拓展性。

本书由徐志胜、姜学鹏担任主编。全书共分八章，具体编写分工如下：第1章由中南大学徐志胜、长沙市公安消防支队杨淑江、西南林业大学崔飞共同编写；第2章由中南大学姜学鹏、河南理工大学裴蓓共同编写；第3章由河南理工大学邓权威、西安科技大学吴奉亮、焦作市公安消防支队李志峰共同编写；第4章由华北水利水电学院白国强、西南交通大学汪鹏、河南理工大学裴蓓共同编写；第5章由中南大学徐志胜和姜学鹏、中铁第四勘察设计院集团有限公司郭辉共同编写；第6章由南京工业大学张村峰、中铁第四勘察设计院集团有限公司庄炜茜共同编写；第7章由华北水利水电学院白国强、沈阳航空航天大学徐艳英、中铁十四局电气化工程有限公

XII 防排烟工程

司高仕琦共同编写；第8章由华北水利水电学院白国强、武汉市公安消防支队吕洋、湖南省公安消防总队周庆共同编写。

本书由中国科技大学霍然教授任主审，在编写过程中也得到了公安部天津消防研究所姜明理和阚强、佛山市公安消防支队冯凯、东莞市公安消防支队刘拓、中国人民武装警察部队学院李思成、招商局重庆科研设计院有限公司陈大飞、湖南润华公共安全工程有限公司吴玉成、北京首安工业消防工程有限公司赵晓明的建议和帮助，在此表示感谢。

本书在成书和出版过程中，得到了中南大学土木工程学院、机械工业出版社等单位的大力支持；本书还参阅了参考文献中所列的许多著作和文献，在此向上述单位及参考文献的原著者一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏与不妥之处，敬请广大读者和专家批评指正（主编联系方式：0731-82656625，jxp5276@126.com）。

编 者

目 录

安全工程专业教材序
消防工程专业系列规划教材序
前言

第1章 火灾烟气的产生及危害	1
1.1 烟气的概念和产生	1
1.2 烟气的表征参数	4
1.3 烟气的危害	7
复习题	14
第2章 火灾烟气的流动与控制	15
2.1 烟气流动的驱动力	15
2.2 烟气等效流通面积	23
2.3 压力中性面	26
2.4 烟气流动预测分析	36
2.5 烟气控制的方式	44
复习题	57
第3章 防排烟系统管路计算	58
3.1 风管内气体流动的流态和阻力	58
3.2 摩擦阻力计算	60
3.3 局部阻力计算	63
3.4 管路的压力分布	67
3.5 管路的计算	71
3.6 风道设计与管网总阻力计算	73
3.7 管路设计中的常见问题及其处理措施	78
复习题	83
第4章 建筑防排烟系统设计	84
4.1 建筑防排烟系统概述	84

XIV 防排烟工程

4.2	建筑防烟系统设计要点及要求	88
4.3	建筑排烟系统设计要点及要求	104
4.4	地下车库防排烟系统设计要点及要求	123
4.5	建筑防排烟系统设计程序及制图要求	129
	复习题	131
第5章	公路隧道防排烟系统设计	132
5.1	公路隧道火灾的原因、特点及危害	132
5.2	公路隧道的通风要求	134
5.3	公路隧道的通风排烟方式	143
5.4	公路隧道正常运营通风的计算	152
5.5	公路隧道防排烟系统设计要点及要求	158
5.6	公路隧道通风系统设施设备	162
	复习题	171
第6章	地铁防排烟系统设计	172
6.1	地铁线路的组成	172
6.2	地铁建筑的特点及其火灾特性	176
6.3	地铁防排烟系统的组成及分类	183
6.4	地铁防排烟系统的运行	188
6.5	地铁防排烟系统设计要点及要求	191
	复习题	196
第7章	防排烟设备及联动控制	197
7.1	防排烟风机	197
7.2	阀门	219
7.3	其他设施	227
7.4	防排烟设备的联动控制	233
	复习题	235
第8章	防排烟系统的施工、调试、验收、维护	236
8.1	防排烟系统的施工	236
8.2	防排烟系统的调试	275
8.3	防排烟系统的验收	287
8.4	防排烟系统的维护管理	289

复习题.....	296
附录	297
附录 A 钢板圆形通风管道计算表 (摘录)	297
附录 B 钢板矩形通风管道计算表 (摘录)	299
附录 C 局部阻力系数表 (摘录)	303
参考文献	309

火灾烟气的产生及危害

【教学要求】	了解火灾烟气的组成；掌握烟气的相关表征参数；掌握烟气危害特性
【重点与难点】	烟气的遮光性及其与能见度的关系 烟气的主要危害及其耐受极限值

烟气是火灾燃烧过程中一项重要的产物。除了极少数情况外，几乎所有火灾中都会产生大量烟气。高温烟气不但加速了火灾的蔓延，而且由于其本身具有毒性，可造成人员伤亡，并且降低了火场能见度，影响人员逃生。事故统计表明，火灾中80%以上死亡是由烟气所导致，其中大部分是吸入了烟尘及有毒气体昏迷后而致死的。因此，对火灾烟气产生、特性及其危害的认识是防排烟设计的重要基础之一。本章主要介绍烟气的概念、产生、特征及危害。

1.1 烟气的概念和产生

1.1.1 烟气的概念

美国试验与材料学会（ASTM）给烟下的定义是：某种物质在燃烧或分解时散发出的固态或液态悬浮微粒和高温气体。美国消防协会《中庭建筑烟气控制设计指南》（NFPA 92B）对烟气的定义则是，在上述定义基础上增加文字“以及混合进去的任何空气”。

概括起来，起火后包围着火焰的云状物叫做烟气。烟气由三类物质组成：①燃烧物质释放出的高温蒸气和有毒气体；②被分解和凝聚的未燃物质（烟从浅色到黑色不等）；③被火焰加热而带入上升卷流中的大量空气。

建筑物中大量建筑材料、家具、衣物、纸张等可燃物，火灾时受热分解，

2 防排烟工程

然后与空气中的氧气发生氧化反应，燃烧并产生各种生成物。完全燃烧所产生的烟气成分中，主要为二氧化碳、水、二氧化氮、五氧化二磷等，有毒有害物质较少。但是，无毒烟气同样可能会降低空气中的氧浓度，影响人们的呼吸，造成人员逃生能力的下降，也可能直接造成人体缺氧窒息致死。

火灾初期阶段常常处于燃料控制的不完全燃烧阶段。不完全燃烧所产生的烟气成分中，除了上述生成物外，还可以产生一氧化碳、有机磷、烃类、多环芳香烃、焦油以及碳屑等固体颗粒。颗粒的性质因可燃物的性质不同存在很大的差异。多环芳香烃碳氢化合物和聚乙烯可认为是火焰中碳烟颗粒的前身，并使得火焰发出黄光。这些小颗粒的直径为 $0.01 \sim 10\mu\text{m}$ 。在温度和氧浓度足够高的前提下，这些碳烟颗粒可以在火焰中进一步氧化，否则直接以碳烟的形式离开火焰区。火灾初期阶段有焰燃烧产生的烟气颗粒几乎全部由固体颗粒组成，其中一部分颗粒是在高热通量作用下脱离固体的灰分，大部分颗粒则是在氧浓度较低的情况下，由于不完全燃烧和高温分解而在气相中形成的碳颗粒。这两种类型的烟气颗粒都是可燃的，一旦被点燃，在通风不畅的受限空间内甚至可能引起爆炸。

油污的产生与碳素材料的阴燃有关。碳素材料阴燃产生的烟气与该材料加热到热分解温度所得到的挥发性产物类似。这种产物与冷空气混合时可浓缩成较重的高分子组分，形成含有碳粒和高沸点液体的薄雾。这些薄雾颗粒的中间直径 D_{50} （反映颗粒大小的参数）约为 $1\mu\text{m}$ ，在静止空气条件下，可缓慢沉积在物体表面，形成油污。

1.1.2 材料的发烟性能

各种可燃物在不同温度下，其发烟性能也各不相同。少数纯燃料（如一氧化碳、甲醇、甲醛、乙醚等）燃烧的火焰不发光，且基本上不产生固态或液态悬浮微粒。而在相同条件下，大分子燃料燃烧时的发烟量却比较显著。在自由燃烧情况下，固体可燃物（如木材）和部分经过氧化的燃料（如乙醇、丙酮等）的发烟量比生成这些物质的碳氢化合物（如聚乙烯和聚氯乙烯）的发烟量少得多。

发烟量是指单位质量可燃材料所产生的烟量。表 1-1 为各种材料在不同温度下燃烧，当达到相同的减光程度时的发烟量，其中 K_v 为烟气的减光系数（其定义见 1.2.3 节）。从表中可以看出，木材类在温度升高时，发烟量有所减少。这主要是由于分解出的碳质微粒在高温下又重新燃烧，且温度升高后减少了碳质微粒的分解所致。还可以看出，高分子有机材料能产生大量的烟气。