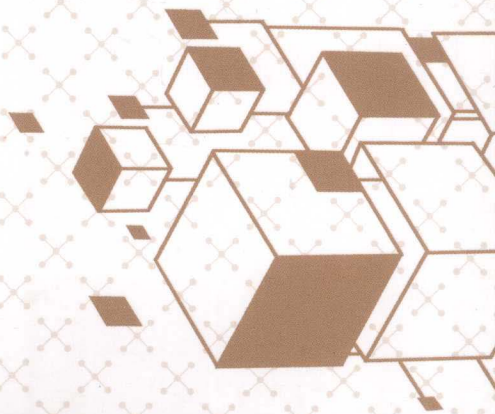




“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学技术大学 *精品* 教材



吴龙标 袁宏永 疏学明 / 编著

火灾探测与 控制工程

第2版

Fire Detection and Control Engineering

中国科学技术大学出版社

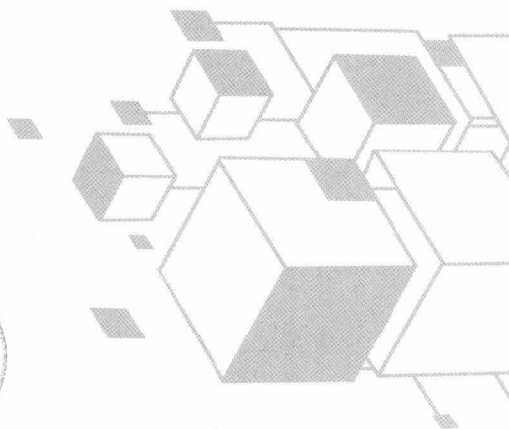
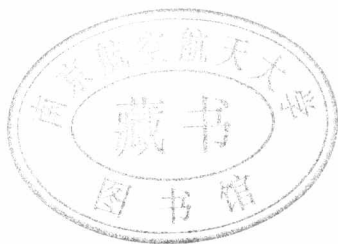


“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学技术大学精品教材



NUAA2014001658



吴龙标 袁宏永 疏学明 / 编著

Fire Detection and Control Engineering

火灾探测与 控制工程

第2版

中国科学技术大学出版社

2014001658

内 容 简 介

火灾威胁着人类的生命财产安全,为此人类发展了种种技术与方法试图消灭火灾,包括两个方面:如何及早发现火灾以及如何尽快扑灭火灾,也就是研究火灾的发生与发展并采取相应的措施以减少火灾产生的危害。本书从火灾科学的基础研究成果出发,讨论了预防火灾的途径,探测火灾的技术,扑灭火灾的方法,内容全面,切合实际。本书适合相关专业高年级本科生及研究生作为教材使用,对相关从业人员及爱好者也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

火灾探测与控制工程/吴龙标,袁宏永,疏学明编著.—2版.—合肥:中国科学技术大学出版社,2013.9

(中国科学技术大学精品教材)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-312-03308-7

I. 火… II. ①吴…②袁…③疏… III. 火灾监测—自动报警系统—高等学校—教材 IV. TU998.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 181210 号

中国科学技术大学出版社出版发行

安徽省合肥市金寨路 96 号,230026

<http://press.ustc.edu.cn>

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本:710 mm×960 mm 1/16 印张:31.5 插页:2 字数:600 千

1999 年 8 月第 1 版 2013 年 9 月第 2 版 2013 年 9 月第 2 次印刷

定价:56.00 元



编审委员会

主 任 侯建国

副主任 窦贤康 陈初升
张淑林 朱长飞

委 员 (按姓氏笔画排序)

方兆本	史济怀	古继宝	伍小平
刘 斌	刘万东	朱长飞	孙立广
汤书昆	向守平	李曙光	苏 淳
陆夕云	杨金龙	张淑林	陈发来
陈华平	陈初升	陈国良	陈晓非
周学海	胡化凯	胡友秋	俞书勤
侯建国	施蕴渝	郭光灿	郭庆祥
奚宏生	钱逸泰	徐善驾	盛六四
龚兴龙	程福臻	蒋 一	窦贤康
褚家如	滕脉坤	霍剑青	

总 序

2008年,为庆祝中国科学技术大学建校五十周年,反映建校以来的办学理念 and 特色,集中展示教材建设的成果,学校决定组织编写出版代表中国科学技术大学教学水平的精品教材系列.在各方的共同努力下,共组织选题281种,经过多轮、严格的评审,最后确定50种入选精品教材系列。

五十周年校庆精品教材系列于2008年9月纪念建校五十周年之际陆续出版,共出书50种,在学生、教师、校友以及高校同行中引起了很好的反响,并整体进入国家新闻出版总署的“十一五”国家重点图书出版规划。为继续鼓励教师积极开展教学研究与教学建设,结合自己的教学与科研积累编写高水平的教材,学校决定,将精品教材出版作为常规工作,以《中国科学技术大学精品教材》系列的形式长期出版,并设立专项基金给予支持。国家新闻出版总署也将该精品教材系列继续列入“十二五”国家重点图书出版规划。

1958年学校成立之时,教员大部分来自中国科学院的各个研究所。作为各个研究所的科研人员,他们到学校后保持了教学的同时又作研究的传统。同时,根据“全院办校,所系结合”的原则,科学院各个研究所在科研第一线工作的杰出科学家也参与学校的教学,为本科生授课,将最新的科研成果融入到教学中。虽然现在外界环境和内在条件都发生了很大变化,但学校以教学为主、教学与科研相结合的方针没有变。正因为坚持了科学与技术相结合、理论与实践相结合、教学与科研相结合的方针,并形成了优良的传统,才培养出了一批又一批高质量的人才。

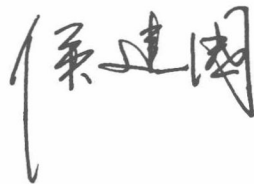
学校非常重视基础课和专业基础课教学的传统,也是她特别成功的原因之一。当今社会,科技发展突飞猛进、科技成果日新月异,没有扎实的基础知识,很难在科学技术研究中作出重大贡献。建校之初,华罗庚、吴有训、严济慈等老一辈科学家、教育家就身体力行,亲自为本科生讲授基础课。他们以渊博的学识、精湛的讲课艺术、高尚的师德,带出一批又一批杰出的年轻教员,培养

了一届又一届优秀学生。入选精品教材系列的绝大部分是基础课或专业基础课的教材，其作者大多直接或间接受到过这些老一辈科学家、教育家的教诲和影响，因此在教材中也贯穿着这些先辈的教育教学理念与科学探索精神。

改革开放之初，学校最先选派青年骨干教师赴西方国家交流、学习，他们在带回先进科学技术的同时，也把西方先进的教育理念、教学方法、教学内容等带回到中国科学技术大学，并以极大的热情进行教学实践，使“科学与技术相结合、理论与实践相结合、教学与科研相结合”的方针得到进一步深化，取得了非常好的效果，培养的学生得到全社会的认可。这些教学改革影响深远，直到今天仍然受到学生的欢迎，并辐射到其他高校。在入选的精品教材中，这种理念与尝试也都有充分的体现。

中国科学技术大学自建校以来就形成的又一传统是根据学生的特点，用创新的精神编写教材。进入我校学习的都是基础扎实、学业优秀、求知欲强、勇于探索和追求的学生，针对他们的具体情况编写教材，才能更加有利于培养他们的创新精神。教师们坚持教学与科研的结合，根据自己的科研体会，借鉴目前国外相关专业有关课程的经验，注意理论与实际应用的结合，基础知识与最新发展的结合，课堂教学与课外实践的结合，精心组织材料、认真编写教材，使学生在掌握扎实的理论基础的同时，了解最新的研究方法，掌握实际应用的技术。

入选的这些精品教材，既是教学一线教师长期教学积累的成果，也是学校教学传统的体现，反映了中国科学技术大学的教学理念、教学特色和教学改革成果。希望该精品教材系列的出版，能对我们继续探索科教紧密结合培养拔尖创新人才，进一步提高教育教学质量有所帮助，为高等教育事业作出我们的贡献。



中国科学技术大学校长
中国科学院院士
第三世界科学院院士

第2版前言

随着我国国民经济的高速发展,人民生活水平的迅速提高,社会财富的极大丰富,国家、社会对生命财产的安全越来越重视,防灾减灾技术和产品得到了快速发展,不少高校设置了安全科学与技术的相关专业,从事防灾减灾的人数大大增加。出版于20世纪90年代末的《火灾探测与控制工程》一书的部分内容与当前技术发展和产品进步已经不相适应,本书第1版使用过程中发现的问题和不足之处也需要修改,在中国科学技术大学教务处、研究生院和出版社的支持和帮助下,作者对《火灾探测与控制工程》展开了全面修订。这次修订依据最新技术发展与教学的需要,本着保留框架、删旧添新、充实内容的原则,对原书进行了重新编写。

保留框架:全书保留6章的结构。本书主要介绍如何自动探测火灾和探测到火灾后如何自动扑灭火灾,即讨论火灾防治问题。第1章介绍了火灾发生、发展、危害及火灾防治的基本情况。在火灾自动探测方面,围绕火灾参量展开,采用各种各样物理或化学的方法探测这些物理量,这些物理量有着不同的物理化学特性,所采用的探测方法应能有效地感知这些量,从而培养学生从本质上学习火灾探测的科技问题,而不是就探测器本身就事论事。离子感烟探测器虽然目前应用越来越少,但发明和改进这种探测器的思路还是值得认真学习的,从中可以培养学生创新的思维方法,所以保留了这一节。在灭火技术方面,从灭火机理入手讨论火灾扑救问题,任何一种灭火手段都是遵循灭火机理中的某一条或几条规律的,讨论高效灭火技术及方法的本质是更好地符合这些规律。在编写第1版时,认识到火灾信息处理对提高火灾探测可靠性的重要性,安排了第2章一章的篇幅讨论这个问题。防排烟系统对于人员疏散和自动灭火的成功率至关重要,作为第5章标题的一部分,现在看来仍然是正确的。而第4章是连接火灾探测与自动灭火的纽带,第6章告诉读者在本领域中目前的技术动向,相当于给读者出了一些问题。基于上述考虑,所以再版框架保持不变。

删旧添新、充实内容:除了对第1版中的错误和疏漏进行订正外,就下列内容做了变更。

- (1) 第1章增加了本书内容的简介,各章结束增加了复习思考题。
- (2) 第2章充实了人工神经网络的内容。

(3) 石油、化工、地铁、隧道、电力等行业的需求促进了线型感温火灾探测器、气体火灾探测器的发展,第3章中增加了不少这方面的新技术、新产品,同时精简了第1版中气体火灾探测器的部分内容。吸气式火灾探测器经过20多年的发展,技术日趋成熟,反映这些技术成果的吸气式火灾探测器从第6章调整到第3章。

(4) 这些年来,灭火技术得到了快速发展,各种灭火系统相继问世,第4章中对这些系统的控制过程做了介绍。此外,火灾扑救实践表明,良好的应急照明和疏散指示对于人员疏散和火灾扑救十分重要,所以“火灾应急照明和疏散指示”一节增加了智能疏散指示灯的内容。

(5) 第5章删除了禁止使用的哈龙灭火系统。

(6) 第6章引入多传感火灾探测技术、消防物联网技术、超高层人员定位技术等新技术。

“火灾探测与控制工程”是一门应用性十分强的课程,火灾探测和灭火设备的技术发展快、产品更新快且种类繁多,构成的系统(产品)各式各样、各有特色、兼容性差,不可能在本书中一一介绍,只能介绍一些典型的、有代表性的系统、设备和器件,以此启发读者举一反三、触类旁通,从而掌握火灾探测和扑救的基本原理和方法,体会和实践创新思维的内涵及真谛,希望达到授之以渔的目的。

本书第1、3、4章由中国科学技术大学吴龙标教授编写,第2、5、6章由清华大学袁宏永教授、疏学明副教授编写。方俊副教授、王安平和胡鹄工程师为本书做了许多工作,在此向他们表示感谢!书中参考和引用了一些单位的数据和图表,在此向这些单位表示深深的谢意!此外还要感谢中国科学技术大学出版社为本书的出版所做的大量工作,使得本书如期出版!

火灾探测和扑救技术日新月异,技术层面宽广,加上知识产权、技术保密等原因,书中讨论的问题只反映一定时期的技术水平。由于作者水平有限,书中难免存在不妥甚至错误之处,恳请读者批评指正。

作者
2013年3月15日

前 言

火的应用促进了人类的进化,推动了社会的发展,加快了科学技术的进步,使人类创造出如此辉煌灿烂的文明。而火失去控制造成的火灾不仅夺去了人类的生命和财产,还破坏了人类赖以生存的生态环境和自然资源,严重地威胁人类的生存安全。因此,防止火灾发生,减少火灾损失就成为人类研究的永恒课题。

千百年来,人类在研究用火的同时,又研究如何防止火灾的发生和发展,到了20世纪70年代末,形成了一门新兴的交叉学科——火灾科学。火灾科学探索火灾孕育、发生和发展的动力学演化机理和规律,研究火灾防治的共性技术基础,主要包括:起火、火灾蔓延和烟气传播;火灾与环境或系统的相互作用;发展火灾过程的三维、多相、非定常、非线性、湍流、传热传质和燃烧相互耦合的数学物理模型、计算机软件模拟和实验模拟;火灾防治的新思想、理论、方法和系统,推动防灭火技术的进步。火灾科学的诞生意味着人类研究火灾进入了一个全面、系统、科学的新时代。

《火灾探测与控制工程》一书是基于火灾科学的基础研究成果,讨论预防火灾的途径,探测火灾的技术,扑灭火灾的方法,是火灾科学的一个重要组成部分。书中第1章讨论了火灾产生的机理、防火对策和国内外火灾自动报警系统的状况。第2章讨论了火灾探测信号特征、数学模型及处理方法。第3章讨论了各种火灾探测器的工作原理及其工程应用。第4章讨论了火灾自动报警和联动控制设备及构成的系统。第5章讨论了各种灭火系统与防排烟系统。第6章讨论了当前两种火灾探测新技术。这些内容基本上涵盖了当前自动消防系统的主要方面,也反映了我们多年来从事本领域研究和应用的部分成果。

在本书的编写过程中,国际火灾协会常务理事、亚澳火灾协会主席、中国科学技术大学副校长、火灾科学国家重点实验室主任范维澄教授十分关心本书的编写和出版,特在百忙之中审阅和修改了本书的部分章节;王清安教授、林其钊副教授对全部书稿进行了认真的审阅,提出了不少宝贵意见,在此向他们表示衷心的感谢!姚伟祥、苏国锋、张本矿、陈涛、武晓燕等同志参与了本书的图表制作和文字输

目 录

总序	(i)
第 2 版前言	(iii)
前言	(v)
第 1 章 绪论	(1)
1.1 火灾及其危害	(1)
1.2 火灾的产生及其分类	(2)
1.2.1 火灾产生的条件	(2)
1.2.2 火灾的发生和发展	(4)
1.2.3 火灾特征及火灾参量	(7)
1.2.4 火灾分类	(9)
1.2.5 建筑火灾的防火对策	(10)
1.2.6 自动消防系统	(13)
1.3 我国火灾自动报警系统的现状和未来	(14)
1.3.1 消防产品	(14)
1.3.2 消防产业链	(15)
1.3.3 火灾自动报警系统的未来	(16)
1.4 本书的主要内容	(18)
复习思考题	(20)
参考文献	(20)
第 2 章 火灾信号的识别算法	(22)
2.1 火灾信号的特征	(22)
2.2 火灾信号的基本识别算法	(24)
2.2.1 直观阈值算法	(25)
2.2.2 趋势算法	(26)
2.2.3 斜率算法	(35)
2.2.4 持续时间算法	(39)
2.3 火灾信号的统计识别算法	(45)



2.3.1	随机信号及其处理方法	(45)
2.3.2	功率谱检测算法	(48)
2.4	火灾信号的智能识别算法	(63)
2.4.1	模糊逻辑在火灾探测中的应用	(64)
2.4.2	神经网络算法	(67)
2.4.3	模糊神经网络火灾探测算法	(77)
	复习思考题	(82)
	参考文献	(83)
第 3 章	火灾探测器	(85)
3.1	火灾探测器的功能及其分类	(85)
3.2	感烟火灾探测器	(87)
3.2.1	火灾烟气的组成和特性	(87)
3.2.2	离子感烟探测器	(91)
3.2.3	散射型光电感烟探测器	(106)
3.2.4	点型感烟探测器对烟的响应性能	(116)
3.2.5	点型感烟探测器的性能检验	(121)
3.2.6	减光型光电感烟探测器	(134)
3.2.7	吸气式感烟火灾探测器	(144)
3.3	感温火灾探测器	(155)
3.3.1	感温火灾探测器的响应时间和特性	(155)
3.3.2	定温火灾探测器	(160)
3.3.3	差温火灾探测器	(180)
3.3.4	差定温火灾探测器	(183)
3.4	感光火灾探测器	(186)
3.4.1	概述	(186)
3.4.2	紫外火焰探测器	(187)
3.4.3	红外火焰探测器	(193)
3.4.4	红紫外火焰探测器	(208)
3.4.5	红外热释电传感器	(209)
3.5	气体火灾探测器	(216)
3.5.1	气体探测器及其分类	(216)
3.5.2	半导体气体探测器	(221)
3.5.3	红外吸收式气体探测器	(235)

3.5.4	接触燃烧式气敏传感器	(240)
3.5.5	热导率变化式气体传感器	(243)
3.5.6	电化学气体传感器	(245)
3.5.7	光纤可燃气体传感器	(250)
3.6	复合火灾探测器	(258)
3.7	火灾探测器的工程应用	(263)
3.7.1	各类火灾探测器的适用场所	(263)
3.7.2	控制器与探测器的产品型号编制方法	(267)
3.7.3	点型火灾探测器使用数量的估算	(269)
	复习思考题	(271)
	参考文献	(272)
第4章	火灾自动报警控制系统	(275)
4.1	概述	(275)
4.2	火灾探测报警系统	(276)
4.2.1	分类	(277)
4.2.2	火灾报警控制器	(279)
4.2.3	地址码设置	(281)
4.2.4	触发装置	(283)
4.2.5	警报装置	(284)
4.2.6	电源	(285)
4.3	消防联动控制系统	(287)
4.3.1	室内消火栓系统及其控制	(287)
4.3.2	自动喷水灭火系统及其控制	(295)
4.3.3	自动跟踪定位射流灭火系统及其控制	(307)
4.3.4	细水雾灭火系统及其控制	(310)
4.3.5	气体灭火系统及其控制功能	(316)
4.3.6	泡沫灭火系统及其控制功能	(328)
4.3.7	干粉灭火系统及其控制功能	(331)
4.3.8	机械防烟、排烟设施的控制功能	(336)
4.3.9	火灾事故广播与警报装置	(339)
4.3.10	消防专用电话	(341)
4.3.11	电动防火门和防火卷帘的控制	(342)
4.3.12	电梯回降控制	(344)

4.4	消防电源与接地	(345)
4.4.1	消防电源	(345)
4.4.2	接地	(348)
4.5	应急照明和疏散指示标志	(349)
4.5.1	设置范围、照度和位置	(350)
4.5.2	疏散指示灯的布置	(350)
4.5.3	电光源和灯具的选择	(351)
4.5.4	应急照明供电与配电	(352)
4.5.5	智能疏散逃生系统	(353)
4.6	火灾信号传输	(353)
4.6.1	火灾自动报警系统的线制	(354)
4.6.2	火灾自动报警系统内部通信协议	(360)
4.6.3	火灾自动报警系统外部网络	(361)
4.6.4	火灾自动报警系统外部通信协议	(364)
4.7	应用举例	(368)
	复习思考题	(372)
	参考文献	(373)
第5章	自动灭火系统与防排烟系统	(375)
5.1	火灾控制概述	(375)
5.2	水灭火系统	(378)
5.2.1	消防给水系统和室内外消火栓系统	(379)
5.2.2	自动喷水灭火系统	(391)
5.2.3	水喷雾灭火系统	(411)
5.3	泡沫灭火系统	(418)
5.3.1	低倍数泡沫灭火系统	(418)
5.3.2	高倍数、中倍数泡沫灭火系统	(422)
5.4	通风排烟	(433)
5.4.1	历史背景	(433)
5.4.2	工业建筑通风	(435)
5.4.3	安装通风面积	(438)
5.4.4	通风理论要素	(439)
	复习思考题	(442)
	参考文献	(443)

第 6 章 火灾探测与控制新技术	(444)
6.1 概述	(444)
6.2 多传感火灾探测技术	(446)
6.2.1 基本原理	(446)
6.2.2 智能火灾探测器信息融合算法	(447)
6.2.3 多传感信息融合关键技术	(449)
6.3 图像识别方法	(450)
6.3.1 概述	(450)
6.3.2 图像感焰火灾探测技术	(452)
6.3.3 图像感烟火灾探测技术	(454)
6.4 高大空间火灾探测与扑救方法	(459)
6.4.1 引言	(459)
6.4.2 图像型火焰探测原理	(462)
6.4.3 基于计算机视觉的定位灭火原理	(464)
6.5 消防物联网	(469)
6.5.1 物联网概述	(469)
6.5.2 消防物联网	(471)
6.5.3 消防物联网的应用与实践	(473)
6.6 超高层人员定位技术	(479)
6.6.1 概述	(479)
6.6.2 技术方案	(481)
6.6.3 人员定位技术	(483)
复习思考题	(486)
参考文献	(487)
附录 1 元素周期表	(488)
附录 2 标准试验火的规格	(489)

第 1 章 绪 论

1.1 火灾及其危害

火是诞生万物的本源,没有火就没有宇宙、地球和人类。人类经历了从怕火、躲火到用火、护火、生火的过程,火的应用对人类的文明和社会的进步起到了巨大的推动作用,人类取得了今天如此巨大的成就与火的应用是分不开的。人类在用火过程中或者其他因素导致对火失去控制,使火自由地向周围蔓延,吞食人类的生命和财富,破坏人类的生态环境,这种在时间和空间上失去人为控制,给人类造成灾害的燃烧现象,称为火灾(Fire)。

人类在向自然索取时、在与自然抗争中,遇到了各种各样的灾害,如水灾、旱灾、地震、风灾、火灾等,在众多灾害中,火灾造成的直接损失约为地震的 5 倍,仅次于干旱和洪涝,而火灾发生的频率位居各灾种之首^[1]。根据联合国世界火灾统计中心的统计,火灾造成的损失,美国不到 7 年翻一番,日本平均 16 年翻一番,中国平均 12 年翻一番。统计资料表明,2000 年前后,大多数国家的年度火灾直接损失占国民经济总值的 0.15% 以上,再考虑到火灾间接经济损失、灭火费用、社会影响和长远的经济损失,估计整个火灾损失将占国民经济总值的 0.75%。因此,千百年来,人类和火灾进行了长期的斗争,积累了许多防火、灭火的经验教训,创造了各种各样防火、灭火的方法和装备。到 20 世纪 70 年代后期,开始出现一门新兴的多学科交叉的学科——火灾科学,其中心内容是用现代高科技手段研究火灾发生、发展和防治的机理和规律,为火灾防治提供新的思想、理论和方法。火灾科学的出现,使得火灾研究进入了科学化、系统化的轨道,并促进了防火、灭火技术的进步。

虽然科学技术的进步使人类的防火、灭火手段发生了很大的变化,取得了可喜的成绩,然而随着社会的重大变革,经济的飞速发展,城市化进程的加快和人口的增长,火灾发生的次数和造成的损失还是在呈上升趋势。如“八五”期间我国共发

