

城市轨道交通职业教育系列教材——城轨机电技术

---

# 城市轨道交通 FAS 及 气灭系统

主 编 齐晓华 杨 辉  
副主编 杨辰飞 柴 亮 袁艳玲  
主 审 巩 奇

---

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

---

图书在版编目 ( C I P ) 数据

城市轨道交通 FAS 及气灭系统 / 齐晓华, 杨辉主编  
—成都: 西南交通大学出版社, 2021.2  
ISBN 978-7-5643-7981-0  
城... 齐... 杨... 城市铁路 - 轨道  
交通 - 火灾监测 - 自动报警系统 - 高等职业教育 - 教材  
城市铁路 - 轨道交通 - 防火系统 - 高等职业教育 - 教材  
U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 ( 2021 ) 第 031519 号

---

Chengshi Guidao Jiaotong FAS ji Qimie Xitong

城市轨道交通 FAS 及气灭系统

主编 齐晓华 杨辉

---

责任编辑 王 旻

封面设计 何东琳设计工作室

---

出版发行 西南交通大学出版社  
( 四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号  
西南交通大学创新大厦 21 楼 )

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 成都蜀通印务有限责任公司

---

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 15.5

字数 374 千

版次 2021 年 2 月第 1 版

印次 2021 年 2 月第 1 次

定价 48.00 元

书号 ISBN 978-7-5643-7981-0

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

---

《城市轨道交通 FAS 及气灭系统》  
校企合作编写组成员

---

郑州铁路职业技术学院：

齐晓华 杨辰飞 魏冠义


郑州地铁集团有限公司：

杨 辉 巩 奇 柴 亮 袁艳玲

张志鹏 朱振亚 张继哲 王文峥

王文博 翟 龙 程誉博 王瑞宾





## 前言

随着城市轨道交通的快速发展，城市轨道交通自动化系统应用也越来越广泛，消防技术在城市轨道交通中的应用符合“人文交通、科技交通、绿色交通”的战略发展要求。消防安全是城市轨道交通运营的生命线，城市轨道交通消防系统是保障人们出行安全的最重要系统之一。全国各大城市轨道交通线路不断增加，消防系统建设需要不断完善，自动化操作岗人才需求也日益剧增。火灾自动报警系统设备维护与检修是城市轨道交通公司机电中心自动化检修岗的一项重要工作内容，编写适合城市轨道交通机电技术专业人才培养及地铁公司自动化检修岗员工培训的专业教材势在必行。

《城市轨道交通 FAS 及气灭系统》教材主要包括城市轨道交通火灾自动报警系统概述、消防基础知识、火灾自动报警系统、气体灭火系统、消防联动技术、消防系统图纸及施工工艺、消防系统维护管理及故障处理、消防系统相关规范、常用工器具的使用、实训操作及地铁消防设备操作等 11 个项目（FAS，英文 Fire Alarm System 的缩写，即火灾报警系统）。本书理论知识比较全面，大量图表资源取自地铁公司的现场设备，在实操项目设置上采用校内实训设备与地铁现场设备相结合的方式，内容比较贴合实际应用。结合教材各项目实际情况，本书编写团队还开发了微课视频、实操视频及动画等数字教学资源，为读者的学习提供方便，也拓展了读者的专业视野。教材适合相关课程 36~48 学时的教学安排，可作为城市轨道交通机电技术专业及相关专业的专业教材，也可作为地铁公司 FAS 及气灭检修岗位培训教材。

本书由郑州铁路职业技术学院和郑州地铁集团有限公司校企合作共同编写，校企在课程资源共建共享、技术互通融合方面有着深厚的合作基础。本书由齐晓华、杨辉担任主编，杨辰飞、柴亮、袁艳玲担任副主编，巩奇担任主审，齐晓华负责全书的统稿。其中齐晓华编写项目 1、项目 2、项目 3 及项目 4，杨辰飞编写项目 5、项目 10，魏冠义编写项目 9、项目 11，柴亮编写项目 6 的 6.1，袁艳玲编写项目 6

的 6.2、6.3 及附录一至附录三，张志鹏编写项目 7，王文峥编写项目 8 的 8.1，王文博编写项目 8 的 8.2，翟龙编写项目 8 的 8.3、8.4，王瑞宾编写项目 8 的 8.5，程誉博编写项目 8 的 8.6。杨辉、巩奇、朱振亚、张继哲等在教材的编写中参与校企合作沟通、教材规划、图片搜集、资料整理及数字资源制作等工作，对他们的辛苦付出表示感谢。

本书内容参考了相关规范标准、政策性文件、文献资料等，在材料搜集及编写过程中也参阅了许多国内外公开出版与发表的教材及文献，在此一并表示感谢。由于编写时间仓促及编者水平所限，本书一定存在许多不足之处，敬请广大读者提出宝贵意见，我们将认真听取并及时改正。


编者  
2021 年 1 月

## 《城市轨道交通 FAS 及气灭系统》数字资源列表

序号	项目名称	资源名称	资源类型	资源页码
1	城市轨道交通 FAS 系统概述	城市轨道交通 FAS 系统概述	微课视频	001
2	消防基础知识	燃烧基础知识	微课视频	008
		火灾基础知识	微课视频	
3	火灾自动报警系统	火灾自动报警系统组成	微课视频	018
		火灾自动报警系统子系统	微课视频	
		典型火灾探测器工作原理	二维动画	
4	气体灭火系统	气体灭火系统介绍	微课视频	046
		气体灭火喷放原理	三维动画	
		气体灭火系统巡视	实操视频	
		气体灭火系统应急操作	微课视频	
5	消防联动技术	火灾自动报警系统联动工作原理	三维动画	062
		自动喷水灭火系统工作原理	三维动画	
		轨道交通 FAS 与各专业接口	微课视频	
		换乘站互联互通	微课视频	
6	消防系统图纸及施工工艺	消防系统施工图	微课视频	082
		消防系统配线图	微课视频	
		消防设备接线图	微课视频	
7	消防系统维护管理及故障处理	消防系统维护管理	微课视频	109
		常见故障及处理方法	微课视频	
		常见设备更换	实操视频	
8	消防系统相关规范	消防系统相关规范	微课视频	120
9	常用工器具的使用	常用工器具操作	实操视频	160
10	实训操作	防火卷帘联动控制操作	实操视频	176
		气体灭火系统联动控制操作	实操视频	
		分布式光纤测温系统操作	实操视频	
11	地铁消防设备操作	火灾报警控制系统操作	实操视频	203
		气体灭火系统操作	实操视频	







# 目录

项目 1 城市轨道交通火灾自动报警系统概述	1
☞ 情景导入	1
☞ 任务引领	1
☞ 项目实施	2
1.1 城市轨道交通火灾特点	2
1.2 轨道交通火灾自动报警系统相关术语	4
1.3 火灾自动报警系统一般规定	5
1.4 火灾自动报警系统组成及功能	6
1.5 气体灭火系统概述	7
☞ 课后练习题	7
项目 2 消防基础知识	8
☞ 情景导入	8
☞ 任务引领	8
☞ 项目实施	9
2.1 燃烧基础知识	9
2.2 火灾基础知识	12
☞ 课后练习题	16
项目 3 火灾自动报警系统	18
☞ 情景导入	18
☞ 任务引领	18
☞ 项目实施	19
3.1 火灾自动报警系统组成	19
3.2 火灾自动报警系统子系统	23
3.3 火灾自动报警设备工作原理	33
☞ 课后练习题	44
项目 4 气体灭火系统	46
☞ 情景导入	46
☞ 任务引领	46
☞ 项目实施	47
4.1 气体灭火系统介绍	47

4.2 气体灭火系统操作	56
☞ 课后练习题	60
项目 5 消防联动技术	62
☞ 情景导入	62
☞ 任务引领	62
☞ 项目实施	63
5.1 消防联动系统设计	63
5.2 轨道交通 FAS 与各专业接口	68
5.3 换乘站互联互通	80
☞ 课后练习题	81
项目 6 消防系统图纸及施工工艺	82
☞ 情景导入	82
☞ 任务引领	82
☞ 项目实施	83
6.1 消防系统施工图	83
6.2 消防系统配线图	94
6.3 消防设备接线图	98
☞ 课后练习题	107
项目 7 消防系统维护管理及故障处理	109
☞ 情景导入	109
☞ 任务引领	109
☞ 项目实施	110
7.1 消防系统维护管理	110
7.2 火灾自动报警系统故障处理	114
☞ 课后练习题	118
项目 8 消防系统相关规范	120
☞ 情景导入	120
☞ 任务引领	120
☞ 项目实施	121
8.1 火灾自动报警系统设计规范	121
8.2 火灾自动报警系统施工及验收规范	130
8.3 气体灭火系统设计规范	139
8.4 气体灭火系统施工及验收规范	143
8.5 地铁设计防火标准	150
8.6 地铁设计规范	153
☞ 课后练习题	157

项目 9	常用工器具的使用	160
☞	情景导入	160
☞	任务引领	160
☞	项目实施	161
9.1	数字万用表	161
9.2	钳形表	163
9.3	兆欧表	164
9.4	网线钳	166
9.5	网线测试仪	167
9.6	光纤导通测试笔	168
9.7	SIGA-PRO 记录读写器	170
9.8	光纤熔接机	170
9.9	光功率计	172
9.10	内阻测试仪	174
项目 10	实训操作	176
☞	情景导入	176
☞	任务引领	176
☞	项目实施	177
10.1	防火卷帘系统联动控制设计	177
10.2	气体灭火系统联动控制设计	186
10.3	分布式光纤测温系统实训	191
项目 11	专业拓展——地铁消防设备操作	203
☞	情景导入	203
☞	任务引领	203
☞	项目实施	204
11.1	NFS2-3030 火灾报警控制系统	204
11.2	气体灭火系统操作	223
附录一	FAS 操作岗岗位职责	234
附录二	FAS 操作岗作业标准流程表	234
附录三	气体灭火系统日检工艺卡	235
参考文献		236





# 项目 1

## 城市轨道交通火灾自动报警系统概述



1-视频/动画

### 情景导入

城市轨道交通消防系统是保障人们出行安全最重要的系统之一，它伴随着轨道交通的变化与发展，始终保障着城市轨道交通的运营安全。预防火灾的发生，及时有效地扑灭火灾，保证乘客的生命安全是城市轨道交通运营管理最重要的工作之一。作为未来的城市轨道交通 FAS 操作岗工作人员，你是否掌握了城市轨道交通火灾自动报警系统基本知识呢？

### 任务引领

1. 了解城市轨道交通火灾特点。
2. 掌握火灾自动报警系统保护等级规定。
3. 熟悉城市轨道交通火灾自动报警系统相关术语。

4. 掌握城市轨道交通火灾自动报警系统的组成及功能。





## 项目实施

随着我国轨道交通行业的快速发展，火灾自动报警系统作为一门专门研究如何预防和控制火灾的综合性学科，正伴随着现代电子技术、信息集成技术、自动控制技术、嵌入式技术的发展进入到高科技综合学科的行列。火灾自动报警系统的发展也代表了轨道交通科学技术水平的发展过程，经历了人工监视型、自动化控制型、智能管控型 3 个发展过程。同样，消防安全更是城市轨道交通运营的生命线，是永恒的主题。城市轨道交通消防系统是保障人们出行安全的最重要的系统之一，它伴随着轨道交通发展而发展，始终保障着城市轨道交通的运营安全。消防是防火和灭火的总称，城市轨道交通的消防工作贯彻执行我国“预防为主、防消结合”的方针。随着我国城市轨道交通快速发展，运营里程不断增加，线网规模不断扩大，网络化效应日益凸显，城市轨道交通已经进入网格化运营时代。城市轨道交通网格化运营对火灾监控的需求已经从“事后分析，被动型”发展到“事前预防，主动型”阶段。

### 1.1 城市轨道交通火灾特点

城市轨道交通车站具有智能化建筑特点，地下车站和地下区间隧道如发生火灾，与地面相比其火灾危险性更大，具有以下特点。

#### 1.1.1 空间小、人员密度和流量大

地下车站和地下区间隧道等特殊的地下建筑，相对空间小、人员密度大和流量大是其最为显著的特征。一旦发生火灾等灾害，与地面建筑发生同样火灾事故相比，其状况要更加难以控制，后果也会更加严重。与地面建筑相比，发生火灾时的特点主要表现在：

##### 1. 氧含量急剧下降

地铁火灾发生时，由于地下建筑的相对封闭性，大量的新鲜空气难以迅速补充，致使空气中氧气含量急剧下降。有研究表明，空气中氧含量降至 15% 时，人体肌肉活动能力下降；降至 10%~14% 时，人体四肢无力，判断能力低，易迷失方向；降至 6%~10% 时，人即会晕倒，失去逃生能力；当空气中含氧量降到 5% 以下时，人会立即晕倒或死亡。

##### 2. 烟雾及毒气

烟雾是人们看得见的燃烧产物，烟雾自身具有的毒性、复燃性不易被人直接察觉，烟雾的温度、浓度、颜色、气味及流动性与灭火工作有着密切的关系。

- (1) 烟雾影响视线。
- (2) 高温烟雾会引起人员烫伤。
- (3) 烟雾有引起人员中毒、窒息的危险。

(4) 烟雾的流动性有造成新的火源和促使火灾发展、蔓延的危险。

### 3. 主动排烟、排热差

发生火灾时，烟雾不能像地面建筑那样有 80% 可以通过破碎的窗户扩散到大气中，而是集聚在建筑物内无法扩散，这样易使温度骤升，较早地出现“爆燃”；烟气形成的高温气流也会对人体产生巨大的影响。这些流动性很强的烟和有毒气体，若不加以控制或及时排出，则会在地下通道内四处流窜，短时间内充满整个地下空间，给现场遇险人员和救灾人员带来极大的生命威胁。

### 4. 火情探测和扑救困难

地铁的火灾比地面的火灾扑救要困难得多，其难度相当于扑救超高层建筑最顶层的火灾。由于地铁的出入口有限，而且出入口通常是火灾时的冒烟口，消防人员不易接近着火点，扑救工作难以展开。地下工程对通信设施的干扰较大，扑救人员与地面指挥人员通信、联络的困难，也为消防扑救工作增加了障碍。

### 5. 人员疏散困难

发生火灾时正常照明有可能中断，人的视觉完全靠事故照明和疏散标志指示灯保证，此时如果再没有事故照明，车站和区间将是一片漆黑，加上浓烟，火场中产生的一些刺激性气味，使人睁不开眼或看不清逃离路线、呼吸困难、判断力下降等，人员很难逃离火场，使人员疏散极为困难。在地铁里发生火灾时，人只有往上逃到地面才能安全，但人员的逃生方向与烟气的自然扩散方向一致，烟的扩散速度一般比人的行动快，因此人员疏散更加困难。

## 1.1.2 易发生电气火灾

城市轨道交通设备是由车辆、通信、信号、供电、自动售检票、空调通风、给排水等数十个机电系统设施和设备组成的庞大复杂的系统，各种电气设备和电子设备种类多、配置复杂，供配电线路、控制线路和信息数据布线等密如蛛网，一旦出现绝缘不良或短路，极易发生电气火灾，并沿着线路迅速蔓延。

## 1.1.3 火险隐患多、火灾损失重

城市轨道交通不仅功能复杂，而且客流大、人员复杂，乘客所带物品、乘客行为等难以控制，消防安全管理难度大，潜在火灾隐患多，一旦起火，控制扑救疏散处理不当，势必损失严重。

地下车站可能产生的火源：

(1) 生产用火：如加热用火、维修用火等。

- (2) 生活用火：暖炉、火柴、电炉、吸烟、加热用具等。
- (3) 干燥装置：用电加热干燥装置，温度失控。
- (4) 电器设备：配电装置、开关、电路、变压器、电器设备的老化等。
- (5) 机械设备：发动机的发热、机械摩擦。
- (6) 高温表面：不易散热的电气设备房。
- (7) 自燃：乘客携带的化学用品、易燃易爆物品。

地铁普遍具有地层较深、逃生距离长、逃生途径少、逃生时间短、疏散困难、应急救援难度大等特点，火灾中产生的大量有毒有害烟气既不利于逃生，也增加了救援难度，势必造成重大的人员伤亡和经济损失，世界各国城市地铁火灾案例如表 1-1 所示。

表 1-1 1969—2005 年世界各国城市地铁火灾案例

事 件	时 间	伤亡损失	原 因
北京地铁火灾	1969 年 11 月	8 人死亡，300 人受伤，直接损失 100 万元	电器故障
英国伦敦地铁火灾	1987 年 11 月	32 人死亡，100 多人受伤，地下二层两座自动扶梯和地下一层售票厅被烧毁	地铁站机房内产生火花，引燃自动扶梯润滑油导致大火
阿塞拜疆地铁火灾	1995 年 10 月	558 人死亡，269 人受伤	电器故障
广州地铁火灾	1999 年 7 月	直接损失 20 万元	配电所失火
英国伦敦地铁火灾	2003 年 1 月	至少造成 32 人受伤	列车撞月台引发火灾
韩国大邱地铁火灾	2003 年 2 月	126 人死亡，146 人受伤，318 人失踪	人为纵火

地铁多处于地下有限空间，又是人员密集公共场所，在逃生过程中很容易造成拥挤和踩踏，从而导致二次灾害和更大的伤亡。火灾自动报警系统成为地铁防灾、控灾、救灾的关键所在。所以，必须加强火灾的预防预警，提高火灾防范能力和初期火灾应急处置水平。

## 1.2 轨道交通火灾自动报警系统相关术语

火灾自动报警系统相关术语如表 1-2 所示。

表 1-2 火灾自动报警系统相关术语

序号	名 称	说 明
1	AFAS ( Automatic Fire Alarm System )	火灾自动报警系统
2	BAS ( Building Automation System )	环境与设备监控系统
3	AFC ( Auto Fare Collection )	自动售检票系统
4	PIS ( Passenger Information System )	乘客信息系统
5	PA ( Public-address System )	广播

6	CCTV ( Closed Circuit Television )	闭路电视
---	------------------------------------	------

续表

序号	名称	说明
7	ACS ( Access Control System )	门禁系统
8	CLK ( Clock )	时钟系统
9	IBP ( Integrated Backup Panel )	综合后备盘
10	UPS ( Uninterrupted Power Supply )	不间断电源
11	PSD ( Platforms Screen Door )	屏蔽门
12	Manual Activating Device	消防手动启动器
13	Fire Alarm	发声警报器
14	Fire Telephone	火警电话
15	No Obstructing	禁止阻塞
16	No Locking	禁止锁闭
17	Fire-Fighting Equipment	灭火设备
18	Fire Extinguisher	灭火器
19	Fire Hose	消防水带
20	Flush Fire Hydrant	地下消火栓
21	Post Fire Hydrant	地上消火栓
22	Fire Ladder	消防梯
23	Highly Flammable Materials	易燃物质
24	Oxidizing Materials	氧化物
25	Explosive Materials	爆炸性物质
26	No Watering to Put Out the Fire	禁止用水灭火
27	No Smoking	禁止吸烟
28	No Burning	禁止烟火
29	No Laying Flammable Materials	禁止放易燃物

### 1.3 火灾自动报警系统一般规定

车站、区间隧道、区间变电所及系统设备用房、主变电所、集中冷站、控制中心、车辆基地应设置火灾自动报警系统。火灾自动报警系统的保护对象分级应根据其使用性质、火灾危险性、疏散和扑救难度等级确定，并符合下列规定：

- (1) 地下车站、区间隧道和控制中心，保护等级应为一级。
- (2) 设有集中空调系统或每层封闭的建筑面积超过 2 000 m<sup>2</sup>，但面积不超过 3 000 m<sup>2</sup> 的

地面车站、高架车站，保护等级应为二级，面积超过 3 000 m<sup>2</sup> 的保护等级应为一级。

火灾自动报警系统的设计除应符合消防技术标准规范外，仍应符合现行国家标准《火灾自动报警系统设计规范》GB 50116—2013 的有关规定。

## 1.4 火灾自动报警系统组成及功能

火灾自动报警系统应具备火灾的自动报警、手动报警、通信和网络信息报警功能，并应实现火灾救灾设备的控制及相关系统的联动控制。火灾自动报警系统应由设置在控制中心的中央级监控管理系统、车站和车辆基地的车站级监控系统、现场级监控系统及相关通信网络等组成。

### 1.4.1 中央级监控管理系统

火灾自动报警系统的中央级监控管理系统由操作员工作站、打印机、通信网络、不间断电源和显示屏等设备组成，并应具备下列功能：

- (1) 接收全线火灾火情信息，对线路消防系统、设施监控管理。
- (2) 发布火灾涉及有关车站消防设备的控制命令。
- (3) 接收并储存全线消防报警设备主要的运行状态。
- (4) 与各车站及车辆段等火灾自动报警系统进行通信联络。
- (5) 火灾事件历史资料存档管理。

### 1.4.2 车站级监控系统

火灾自动报警系统的车站级监控系统应由火灾报警控制器、消防控制室图形显示装置、打印机、不间断电源和消防联动控制器手动控制盘等组成，并应具备下列功能：

- (1) 与火灾自动报警系统中央级监控管理系统及本车站现场级监控系统间进行通信联络。
- (2) 管辖范围内实时火灾的报警，监视车站管辖内火灾灾情。
- (3) 采集、记录火灾信息，并报送火灾自动报警系统中央监控管理级。
- (4) 显示火灾报警点、防、救灾设施运行状态及所在位置画面。
- (5) 控制地铁消防救灾设备的启、停，并显示运行状态。
- (6) 接收中央级火灾自动报警系统指令或独立组织、管理、指挥管辖范围内的救灾，发布火灾联动控制指令。

### 1.4.3 现场级监控系统

火灾自动报警系统现场级监控系统应由输入输出模块、火灾探测器、手动报警按钮、消

防电话及现场网络等组成，并应具备下列功能：

(1) 监视车站管辖范围内灾情，采集火灾信息，消防泵的低频巡检信号、运行状态、设备故障、管网压力信号。

(2) 监视消防电源的运行状态，监视车站所有消防救灾设备的工作状态。

地铁全线火灾自动报警与联动控制的信息传输网络宜利用地铁公共通信网络，火灾自动报警系统现场级网络应独立配置。

## 1.5 气体灭火系统概述

城市轨道交通在城市客运交通中起着至关重要的作用，车站安装多种贵重的电气设备及控制装置，一旦有火灾情况发生，应用一般的水消防进行灭火极有可能发生漏电事故，即便断电也会对设备内部造成严重损坏，造成经济损失及二次伤害。气体灭火系统与传统的水灭火系统有所不同，灭火过程中可以对贵重电气设备进行有效保护，灭火效率比一般的水灭火系统更高。故在城市轨道交通车站的通信设备室、信号设备室、地下变电站、牵引变电站及电器设备室等重要设备房应选用安全性、适用性高的气体灭火系统。本书将对城市轨道交通常用的几类气体灭火系统进行分析，介绍气体灭火系统的组成及功能、气体灭火系统设计规范、气体灭火系统施工及验收规范等。



### 课后练习题

1. 简述城市轨道交通火灾的特点。
2. 解释下列相关术语的含义：FAS、BAS、AFC、PIS、PA、CCTV、ACS、CLK、IBP、UPS、PSD。
3. 简述 FAS 系统保护等级规定。
4. 简述 FAS 系统的组成。

## 项目 2

### 消防基础知识



2-视频/动画

#### 情景导入

无论是预防城市建筑火灾还是城市轨道交通火灾的发生，我们都需要熟悉消防基础知识。掌握火灾的定义、分类及其危险性，也是了解火灾规律、研究如何防范火灾的基础。如果不慎发生火灾，作为相关岗位工作人员，你是否能够了解火灾发生的特点并分析起火原因，更好地运用技术措施有效控火，为防止和减少火灾危害履行岗位职责呢？

#### 任务引领

1. 了解火灾及消防科学的基础理论及应用技术。
2. 了解燃烧条件、燃烧类型、燃烧方式及燃烧产物。
3. 掌握火灾的定义、分类与危害及火灾发生的常见原因。

4. 掌握建筑火灾蔓延的机理与途径、灭火的基本原理与方法等。





## 项目实施

### 2.1 燃烧基础知识

#### 2.1.1 燃烧条件

燃烧是指可燃物与氧化剂作用发生的放热反应，通常伴有火焰、发光和（或）发烟现象。燃烧可分为有焰燃烧和无焰燃烧。通常看到的明火都是有焰燃烧；有些固体发生表面燃烧时，有发光发热的现象，但是没有火焰的产生，这种燃烧方式则是无焰燃烧。燃烧的发生和发展，必须具备3个必要条件，即可燃物、助燃物（氧化剂）和引火源（温度）。当燃烧发生时，上述3个条件必须同时具备，如果有一个条件不具备，那么燃烧就不会发生，图2-1为着火三角形示意图。

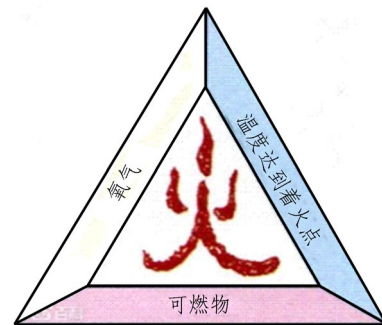


图 2-1 着火三角形

##### 1. 可燃物

凡是能与空气中的氧或其他氧化剂起化学反应的物质，均称为可燃物。

##### 2. 助燃物（氧化剂）

凡是与可燃物结合能导致和支持燃烧的物质，称为助燃物。

##### 3. 引火源（温度）

凡是能引起物质燃烧的点燃能源，统称为引火源。常见的引火源有下列几种：

(1) 明火：明火是指生产、生活中的炉火、烛火、焊接火、吸烟火，撞击、摩擦打火，机动车辆排气管火星、飞火。

(2) 电弧、电火花：电弧、电火花是指电气设备、电气线路、电气开关等漏电打火，电话、手机等通信工具火花，静电火花（物体静电放电、人体衣物静电打火、人体聚集静电对物体放电打火）等。

(3) 雷击：雷击瞬间高压放电能引燃任何可燃物。

(4) 高温：高温是指高温加热、烘烤、积热不散、机械设备故障发热、摩擦发热、聚焦发热等。

(5) 自燃引火源：自燃引火源是指在既无明火又无外来热源的情况下，物质本身自行发热、燃烧起火，如白磷、烷基铝在空气中会自行起火；易燃、可燃物质与氧化剂、过氧化物接触起火等。

## 2.1.2 燃烧类型及燃烧性能参数

### 1. 燃烧类型

按照燃烧形成的条件和发生瞬间的特点，燃烧可分为着火和爆炸。

#### 1) 着 火

可燃物在与空气共存条件下，当达到某一温度时，与引火源接触即能引起燃烧，并在引火源离开后仍能持续燃烧，这种持续燃烧的现象称为着火。着火就是燃烧的开始，并且以出现火焰为特征。着火是日常生活中最常见的燃烧现象。可燃物的着火方式一般分为下列几类：

(1) 点燃(或称强迫着火)。点燃是指由于外部热源，诸如电热线圈、电火花、炽热质点、点火火焰等得到能量，使物质局部受到强烈的加热而着火。此时在靠近引火源处引发火焰，然后依靠燃烧波传播到整个可燃混合物中，这种着火方式习惯上称为引燃。

(2) 自燃。可燃物质在没有外部火花、火焰等引火源的作用下，因受热或自身发热并蓄热所产生的自然燃烧，称为自燃。自燃点是指可燃物发生自燃的最低温度。

化学自燃：例如金属钠在空气中自燃、煤因堆积过高而自燃等。这类着火现象通常不需要外界加热，而是在常温下依据自身的化学反应发生的，因此习惯上称为化学自燃。

热自燃：如果将可燃物和氧化剂的混合物预先均匀地加热，随着温度的升高，当混合物加热到某一温度时便会自动着火(这时着火发生在混合物的整个容积中)，这种着火方式习惯上称为热自燃。

#### 2) 爆 炸

爆炸是指物质由一种状态迅速地转变成另一种状态，并在瞬间以机械功的形式释放出巨大的能量，或是气体、蒸气瞬间发生剧烈膨胀等现象。爆炸最重要的一个特征是爆炸点周围发生剧烈的压力突变，这种压力突变就是爆炸发生破坏作用的原因。

### 2. 闪点、燃点、自燃点的概念

气体、液体、固体物质的燃烧各有特点，通常根据不同燃烧类型，用不同的燃烧性能参数来分别衡量气体、液体、固体可燃物的燃烧特性。

#### 1) 闪 点

在规定的试验条件下，液体挥发的蒸气与空气形成的混合物，遇引火源能够闪燃的液体最低温度，称为闪点。

闪点是可燃性液体性质的主要标志之一，是衡量液体火灾危险性大小的重要参数。闪点越低，火灾危险性越大，反之则越小。

#### 2) 燃 点

在规定的试验条件下，应用外部热源使物质表面起火并持续燃烧一定时间所需的最低温度，称为燃点。

在一定条件下，物质的燃点越低，越易着火。

易燃液体的燃点一般高出其闪点  $1 \sim 5^{\circ}\text{C}$ ，并且闪点越低，这一差值越小，特别是在敞开的容器中很难将闪点和燃点区分开来。因此评定这类液体火灾危险性大小时，一般用闪点。固体的火灾危险性大小一般用燃点来衡量。

### 3) 自燃点

在规定的条件下可燃物质发生自燃的最低温度，称为自燃点。在这一温度时，物质与空气（氧）接触，不需要明火的作用，就能发生燃烧。

可燃物的自燃点越低，发生自燃的危险性就越大。

## 2.1.3 燃烧方式及其特点

### 1. 气体燃烧

可燃气体的燃烧不像固体、液体那样要经熔化、蒸发的过程，其所需热量仅用于氧化或分解，或将气体加热到燃点，因此其容易燃烧且燃烧速度快。根据燃烧前可燃气体与氧混合状况的不同，其燃烧方式分为扩散燃烧和预混燃烧。

### 2. 液体燃烧

易燃、可燃液体在燃烧过程中，并不是液体本身在燃烧，而是液体受热时蒸发出来的液体蒸气被分解、氧化达到燃点而燃烧，即蒸发燃烧。不同液体在燃烧过程中会伴有闪燃、沸溢、喷溅等现象。

(1) 闪燃：易燃或可燃液体挥发出来的蒸气分子与空气混合后，达到一定浓度时，遇引火源产生一闪即灭的现象。

(2) 沸溢：重质油品等燃烧过程中，产生大量蒸气气泡，使液体体积膨胀，向外溢出，同时部分未形成泡沫的油品也被下面的蒸气膨胀力抛出，使液面猛烈沸腾起来，就像“跑锅”一样，这种现象称为沸溢。

(3) 喷溅：重质油品等燃烧过程中，随着热波温度的逐渐升高，热波向下传播的距离也加大，当热波达到水垫时，水垫的水大量蒸发，蒸气体积迅速膨胀，以至把水垫上面的液体层抛向空中，向外喷射，这种现象称为喷溅。

### 3. 固体燃烧

根据各类可燃固体的燃烧方式和燃烧特性，固体燃烧的形式大致可分为 5 种，其燃烧各有特点：蒸发燃烧、表面燃烧、分解燃烧、熏烟燃烧（阴燃）、动力燃烧（爆炸）。

以上各种燃烧方式的划分不是绝对的，有些可燃固体的燃烧往往包含两种或两种以上的形式。例如，在适当的外界条件下，木材、棉、麻、纸张等的燃烧会明显地存在分解燃烧、

熏烟燃烧、表面燃烧等形式。

#### 2.1.4 燃烧产物

燃烧产生的物质，其成分取决于可燃物的组成和燃烧条件。大部分可燃物属于有机化合物，它们主要由碳、氢、氧、氮、硫等元素组成，燃烧生成的气体一般有一氧化碳、二氧化碳、丙烯醛、氯化氢、二氧化硫等。

由燃烧或热解作用产生的全部物质，称为燃烧产物，有完全燃烧产物和不完全燃烧产物之分。完全燃烧产物是指可燃物中的 C 被氧化成  $\text{CO}_2$  (气)、H 被氧化生成的  $\text{H}_2\text{O}$  (液)、S 被氧化生成的  $\text{SO}_2$  (气) 等。而  $\text{CO}$ 、 $\text{NH}_3$ 、醇类、醛类、醚类等是不完全燃烧产物。

有机高分子化合物 (简称高聚物) 在燃烧过程中，会产生  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  (氮氧化物)、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{SO}_2$  及  $\text{COCl}_2$  (光气) 等有害气体，对火场人员的生命安全构成极大的威胁。

二氧化碳和一氧化碳是燃烧产生的两种主要燃烧产物。其中，二氧化碳虽然无毒，但当达到一定浓度时，会刺激人的呼吸中枢，导致呼吸急促、烟气吸入量增加，还会引起头痛、神志不清等症状。而  $\text{CO}$  是火灾中致死的主要燃烧产物之一，其毒性在于对血液中血红蛋白的高亲和性，其对血红蛋白的亲合力比氧气高出 250 倍，因而，它能够阻碍人体血液中氧气的输送，导致头痛、虚脱、神志不清、肌肉调节障碍甚至死亡。

除毒性之外，燃烧产生的烟气还具有一定的减光性。通常可见光波长 ( $\lambda$ ) 为  $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ ，一般火灾烟气中的烟粒子粒径 ( $d$ ) 为几微米到几十微米，由于  $d > 2\lambda$ ，烟粒子对可见光是不透明的。烟气在火场中弥漫，会严重影响人们的视线，使人们难以辨别火势发展方向和寻找安全疏散路线。同时，烟气中有毒气体对人的眼睛有极大的刺激性，降低能见度。

## 2.2 火灾基础知识

### 2.2.1 火灾的定义、分类

#### 1. 火灾的定义

根据国家标准《消防基本术语 (第一部分)》(GB/T 5907.1—2014)，火灾是指在时间或空间上失去控制的燃烧所造成的灾害。

#### 2. 火灾的分类

##### 1) 按照燃烧对象的性质分类

根据国家标准《火灾分类》(GB/T 4968—2008) 的规定，火灾分为 A、B、C、D、E、F 6 类。

A 类火灾：固体物质火灾。这种物质通常具有有机物性质，一般在燃烧时能产生灼热的

余烬。例如，木材、棉、毛、麻、纸张等火灾。

B类火灾：液体或可熔化固体物质火灾。例如，汽油、煤油、原油、甲醇、乙醇、沥青、石蜡等火灾。

C类火灾：气体火灾。例如，煤气、天然气、甲烷、乙烷、氢气、乙炔等火灾。

D类火灾：金属火灾。例如，钾、钠、镁、钛、锆、锂等火灾。

E类火灾：带电火灾。物体带电燃烧的火灾。例如，变压器等设备的电气火灾等。

F类火灾：烹饪器具内的烹饪物（如动物油脂或植物油脂）火灾。

## 2) 按照火灾事故所造成的灾害损失程度分类

依据中华人民共和国国务院 2007 年 4 月 9 日颁布的《生产安全事故报告和调查处理条例》(国务院令 493 号)中规定的生产安全事故等级标准，消防部门将火灾分为特别重大火灾、重大火灾、较大火灾和一般火灾 4 个等级。

(1) 特别重大火灾是指造成 30 人以上死亡，或者 100 人以上重伤，或者 1 亿元以上直接财产损失的火灾。

(2) 重大火灾是指造成 10 人以上 30 人以下死亡，或者 50 人以上 100 人以下重伤，或者 5 000 万元以上 1 亿元以下直接财产损失的火灾。

(3) 较大火灾是指造成 3 人以上 10 人以下死亡，或者 10 人以上 50 人以下重伤，或者 1 000 万元以上 5 000 万元以下直接财产损失的火灾。

(4) 一般火灾是指造成 3 人以下死亡，或者 10 人以下重伤，或者 1 000 万元以下直接财产损失的火灾。

## 2.2.2 火灾发生的常见原因

事故都有起因，火灾也是如此。分析起火原因，了解火灾发生的特点，是为了更有针对性地运用技术措施，有效控火，防止和减少火灾危害。

### 1. 电 气

电气原因引起的火灾在我国火灾中居于首位。电气设备过负荷、电气线路接头接触不良、电气线路短路等是电气引起火灾的直接原因。其间接原因是电气设备故障或电气设备设置和使用不当。

### 2. 吸 烟

烟蒂和点燃烟后未熄灭的火柴梗温度可达到 800℃，能引起许多可燃物质的燃烧，在起火原因中占有相当的比重。

### 3. 生活用火不慎

生活用火不慎主要是指城乡居民家庭生活用火不慎。

### 4. 生产作业不慎

生产作业不慎主要是指违反生产安全制度引起火灾。

## 5. 设备故障

在生产或生活中，一些设施设备疏于维护保养，导致在使用过程中无法正常运行，因摩擦、过载、短路等原因造成局部过热，从而引起火灾。

## 6. 玩 火

未成年儿童因缺乏看管，玩火取乐，也是造成火灾发生的常见原因之一。

## 7. 放 火

放火主要是指人为放火的方式引起的火灾。

## 8. 雷 击

雷电导致的火灾原因，大体上有 3 种：一是雷电直接击在建筑物上发生热效应、机械效应作用等；二是雷电产生静电感应作用和电磁感应作用；三是高电位雷电波沿着电气线路或金属管道系统侵入建筑物内部。

### 2.2.3 建筑火灾蔓延的机理与途径

#### 1. 建筑火灾蔓延的传热基础

热量传递有 3 种基本方式，即热传导、热对流和热辐射，如图 2-2 所示。

热传导又称导热，属于接触传热，是连续介质就地传递热量而又没有各部分之间相对的宏观位移的一种传热方式。

热对流又称对流，是指流体各部分之间发生相对位移，冷热流体相互掺混引起热量传递的方式。

热辐射是因热的原因而发出辐射能的现象。辐射换热是物体间以辐射的方式进行的热量传递。

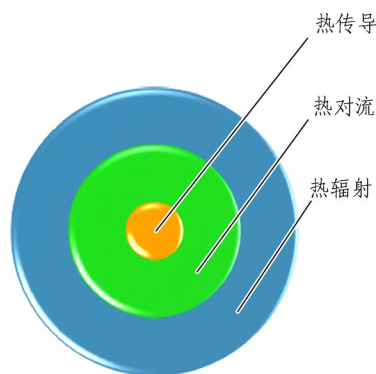


图 2-2 火灾热量传递方式

#### 2. 建筑火灾的烟气蔓延

建筑发生火灾时，烟气流动的方向通常是火势蔓延的一个主要方向。一般 500 °C 以上热烟所到之处，遇到的可燃物都有可能被引燃起火。

烟气流动的驱动力包括室内外温差引起的烟囱效应，外界风的作用、通风空调系统的影响等。

蔓延的主要途径有：内墙门、洞口，外墙门、窗口，房间隔墙，空心结构，闷顶，楼梯

间，各种竖井管道，楼板上的孔洞及穿越楼板、墙壁的管线和缝隙等。

对主体为耐火结构的建筑物来说，造成蔓延的主要原因有：未设有效的防火分区，火灾在未受限制的条件下蔓延；洞口处的分隔处理不完善，火灾穿越防火分隔区域蔓延；防火隔墙和房间隔墙未砌至顶板，火灾在吊顶内部空间蔓延；建筑物采用了可燃构件与装饰物，火灾通过可燃的隔墙、吊顶、地毯等蔓延。

### 3. 建筑火灾发展的几个阶段

对于建筑火灾而言，最初发生在室内的某个房间或某个部位，然后由此蔓延到相邻的房间或区域，以及整个楼层，最后蔓延到整个建筑物。其发展过程大致可分为初期增长阶段、充分发展阶段和衰减阶段，如图 2-3 所示。

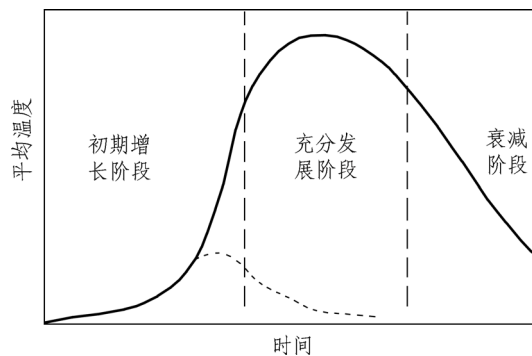


图 2-3 火灾发展阶段

#### 1) 初期增长阶段

初期增长阶段是从出现明火起，此阶段燃烧面积较小，只局限于着火点处的可燃烧物，局部温度较高，室内各点的温度不均衡，其燃烧状况与敞开环境中的燃烧状况差不多。火灾初期增长阶段持续时间的长短不定。

#### 2) 充分发展阶段

当房间内温度达到  $400 \sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$  时，室内绝大部分可燃物起火燃烧，这种在一限定空间内可燃物的表面全部卷入燃烧的瞬变状态，称为轰燃。轰燃的出现是燃烧释放的热量在室内逐渐积累与对外散热共同作用、燃烧速率急剧增大的结果。通常，轰燃的发生标志着室内火灾进入充分发展阶段。

#### 3) 衰减阶段

一般认为火灾衰减阶段是从室内平均温度降低到其峰值的 80% 时算起。随后房间内温度下降显著，直到室内外温度达到平衡为止，火灾完全熄灭。

## 2.2.4 灭火的基本原理与方法

### 1. 冷却灭火

可燃物一旦达到着火点，即会燃烧或持续燃烧。在一定的条件下，将可燃物的温度降到着火点以下，燃烧即会停止。对于可燃固体，将其冷却在燃点以下；对于可燃液体，将其冷却在闪点以下，燃烧反应就会中止。

## 2. 隔离灭火

在燃烧三要素中，可燃物是燃烧的主要因素。将可燃物与氧气、火焰隔离，就可以中止燃烧、扑灭火灾。

## 3. 窒息灭火

可燃物的燃烧是氧化作用，需要在最低氧浓度以上才能进行，低于最低氧浓度，燃烧不能进行，火灾即被扑灭。一般氧浓度低于 15% 时，就不能维持燃烧。

## 4. 化学抑制灭火

有焰燃烧是通过链式反应进行的，如果能有效地抑制自由基的产生或降低火焰中的自由基浓度，即可使燃烧中止。化学抑制灭火的灭火剂常见的有干粉和七氟丙烷。

# 课后练习题

### 一、单项选择题

1. 以下两种地铁常见气体灭火剂：IG541、七氟丙烷，所采用的灭火原理分别是（ ）。  
A. 窒息灭火 窒息灭火 B. 窒息灭火 化学抑制灭火  
C. 化学抑制灭火 窒息灭火 D. 化学抑制灭火 化学抑制灭火
2. 在一定条件下，将可燃物的温度降到着火点以下燃烧即会停止，是（ ）原理。  
A. 冷却灭火 B. 隔离灭火 C. 窒息灭火 D. 化学抑制灭火
3. 将氧气浓度降低，直至低于燃烧所需的最低氧浓度，即可达到灭火效果，是（ ）的灭火原理。  
A. 冷却灭火 B. 隔离灭火 C. 窒息灭火 D. 化学抑制灭火
4. 使用冷却灭火时，对于可燃固体及可燃液体，应分别将其冷却在（ ）以下，燃烧反应可能会中止。  
A. 闪点，闪点 B. 燃点，燃点 C. 闪点，燃点 D. 燃点，闪点
5. 可燃固体在空气中不流通、加热温度较低、分解出的可燃挥发成分较少或逸散较快、含水分较多等条件下，往往发生只冒烟而无火焰的燃烧现象，这种现象叫作（ ）。  
A. 蒸发燃烧 B. 表面燃烧 C. 分解燃烧 D. 熏烟燃烧
6. （ ）的发生标志着室内火灾进入充分发展阶段。  
A. 燃烧 B. 火焰 C. 发烟 D. 轰燃



7. 木材、棉、毛、麻、纸张等火灾，按照国家标准分类为( )。
- A. A类火灾      B. B类火灾      C. C类火灾      D. D类火灾
8. 钾、钠、镁、钛、锆、锂等火灾，按照国家标准分类为( )。
- A. A类火灾      B. B类火灾      C. C类火灾      D. D类火灾
9. C类火灾是指( )火灾。
- A. 固体            B. 气体            C. 液体            D. 可燃金属
10. 按燃烧对象分，可燃金属燃烧引起的火灾是( )。
- A. A类火灾      B. B类火灾      C. C类火灾      D. D类火灾

## 二、判断题

1. 一些设施设备疏于维护保养，因摩擦、过载、短路等原因造成局部过热，易引发火灾。 ( )
2. 轰燃的出现是燃烧释放的热量在室内逐渐积累与对外散热共同作用、燃烧速率急剧增大的结果。 ( )
3. 可燃物质达到自燃点时，与空气(氧)接触，不需要明火的作用，就能产生燃烧。 ( )
4. 建筑发生火灾时，烟气流动的方向通常是火势蔓延的一个主要方向。 ( )
5. 造成3人以上10人以下死亡，或者10人以上50人以下重伤，或者1000万元以上5000万元以下直接财产损失的火灾属重大火灾。 ( )

## 三、简答题

1. 按照国家标准《火灾分类》(GB/T 4968—2008)，火灾按照燃烧对象的性质可以分为哪几类？
2. 灭火的基本方式及其原理是什么？
3. 燃烧必备的条件是什么？
4. 我国火灾按损失严重程度分为哪几类？