

火灾探测系统 与灭火系统

[美]约翰L.布赖恩 著
冯绍全 唐祝华 译



群众出版社

火灾探测系统与灭火系统

(美) 约翰 L. 布赖恩 著
冯绍全 唐祝华 译



一九八八年·北京

火灾探测系统与灭火系统

(美)约翰L. 布赖恩 著

冯绍全 唐祝华 译

群众出版社出版、发行

通 县 印 刷 厂 印 刷

850×1168毫米 32开本 12.5印张 305千字

1988年3月第1版 1988年3月北京第1次印刷

统一书号：13067·77 定价：3.90元

印数：00001—8000册

译者的话

本书是美国格伦科出版社1974年出版的十本消防科学丛书之一。它不论在理论方面或技术水平方面都有较高的参考价值。

本书作者约翰L.布赖恩(John L. Bryan)博士,从1956年起在美国马里兰大学工学院任防火专业教授兼教研室主任,到本书出版时,他从事消防工作已有28年,积累了丰富的经验。他是美国保险商试验室防火委员会、美国专业人员资格审查委员会和美国防火协会的会员,还是美国消防工程师学会和美国材料试验学会的名誉会员。在其它许多工业和政府机构中担任消防业务和教育顾问。

本书共十三章。第一章阐述了物质燃烧原理和灭火机理的基础知识和实际应用,并阐述了如何合理选择和使用灭火剂及其灭火设备的基本原则。然后用六章的篇幅阐述灭火系统:包括泡沫、干粉、二氧化碳、卤代烷灭火系统和各种手提式灭火器、便携式、车载式泡沫设备的设计原理和使用。第七、八两章阐述了抑爆系统和专用灭火系统。最后四章阐述了火灾的探测系统和探测器,包括感温、感烟及火焰式火灾探测系统。本书既有普及性的知识,又有较深的理论,列举了大量的重要技术数据,还附有許多技术图表和设备照片,是一本较好的消防技术参考书。本书可供消防院校师生、从事消防科研、生产以及专业、业余消防部门的人员参考。

在翻译过程中,沈金生同志提出了许多宝贵意见,在此谨致谢意。

鉴于译者水平有限,译文中难免有欠妥之处,恳请读者指正。

1981年10月

原 序

我写本书的目的是，使读者能很好地理解多数建筑物中现用火灾探测系统与灭火系统的设计、检验或维修原理。为了复习和扩大所学的知识，在每一章的章末均附有摘要、复习题和参考书目。

有理由相信那些懂得火灾探测系统与灭火系统的基本原理和使用限制的人们将会提出改进这些系统的意见和想法，更重要的是他们将会提出更新型、更先进的系统的设想。

本书有关消防专业方面的课文无疑是依靠火灾探测系统与灭火系统的制造厂和供销商以及鉴定机构的协作而写成的。在全书各章节中，我都力图标明提供资料和插图的每一个人或团体，我真诚地感激他们的帮助。

我在此向那些为编写本书出过一份力的所有人员，包括马里兰大学中我的学生和同僚们致以谢意，他们自始至终热忱地帮助我，鼓励我并与我认真进行商讨，使我更加认识到学问是理解和交流的统一体。

感激卡莱尔·麦克布赖尔小姐曾致力于本书的编辑和加工，最诚挚地感谢埃洛伊斯·麦克布赖尔夫人在编写本书手稿时的献身精神和不倦的努力。判明并感激那些对编写本书有贡献的个人和团体决非是想暗示他们应负担即使有也是很有限的责任。

目 录

1	灭火剂和灭火原理.....	(1)
	燃烧原理.....	(1)
	火灾的抑制和扑灭的原理.....	(17)
	摘要.....	(23)
	参考书目.....	(23)
	复习题.....	(25)
2	手提式灭火器.....	(26)
	灭火器的用途.....	(26)
	灭火器的选择.....	(34)
	灭火器类型的选择.....	(52)
	灭火器的安装和定位.....	(67)
	摘要.....	(71)
	参考书目.....	(71)
	复习题.....	(75)
3	便携式和车载式泡沫灭火设备.....	(76)
	泡沫灭火剂的种类.....	(76)
	化学泡沫.....	(76)
	机械泡沫.....	(77)
	泡沫的灭火效能.....	(84)
	便携式和车载式泡沫设备.....	(92)
	摘要.....	(109)
	参考书目.....	(110)
	复习题.....	(113)
4	泡沫灭火系统.....	(114)

	消火栓和分配系统	(114)
	泡沫喷出口	(121)
	高倍数泡沫系统	(142)
	摘要	(148)
	参考书目	(148)
	复习题	(152)
5	二氧化碳灭火系统	(153)
	二氧化碳的灭火原理	(153)
	二氧化碳贮存系统的特性	(157)
	二氧化碳灭火系统的类型	(161)
	摘要	(179)
	参考书目	(180)
	复习题	(181)
6	干粉灭火系统	(183)
	干粉灭火剂的种类	(183)
	干粉的灭火效能	(187)
	干粉灭火系统的类型	(188)
	摘要	(216)
	参考书目	(217)
	复习题	(219)
7	卤代烷灭火系统	(220)
	各种卤代烷灭火剂	(220)
	1301的特性和灭火效能	(222)
	1301灭火系统的类型	(228)
	1301灭火系统的应用	(238)
	摘要	(240)
	参考书目	(240)
	复习题	(244)

8 抑爆系统	(245)
8.1 历史和发展.....	(245)
8.2 系统的设计和部件.....	(247)
8.3 摘要.....	(259)
8.4 参考书目.....	(260)
8.5 复习题.....	(261)
9 专用灭火系统	(262)
9.1 干粉炮.....	(262)
9.2 小型灭火系统.....	(264)
9.3 碳酸钾水溶液系统.....	(268)
9.4 润湿剂.....	(271)
9.5 减阻剂.....	(274)
9.6 惰性气体灭火.....	(280)
9.7 摘要.....	(282)
9.8 参考书目.....	(282)
9.9 复习题.....	(284)
10 火灾探测系统	(285)
10.1 探测系统的用途.....	(285)
10.2 探测系统的基本部件.....	(296)
10.3 住宅火灾的探测.....	(302)
10.4 摘要.....	(305)
10.5 参考书目.....	(305)
10.6 复习题.....	(308)
11 感温式火灾探测系统	(309)
11.1 火灾的传热特性.....	(309)
11.2 感温探测器的鉴定.....	(317)
11.3 感温探测器的类型.....	(322)
11.4 摘要.....	(334)

	参考书目	(335)
	复习题	(336)
12	感烟式火灾探测系统	(338)
	感烟式探测器的工作原理	(338)
	鉴定方法	(351)
	安装原则	(356)
	摘要	(370)
	参考书目	(372)
	复习题	(374)
13	火焰式火灾探测系统	(375)
	火焰式探测器的工作原理	(375)
	鉴定方法	(382)
	安装原则	(385)
	摘要	(387)
	参考书目	(387)
	复习题	(389)

1 灭火剂和灭火原理

燃烧原理

为能透彻理解火灾抑制和扑灭的原理，我们首先必须重温燃烧过程的扩散火焰现象。扩散火焰燃烧是大多数火灾所表现出来的燃烧现象，它主要涉及到燃料蒸气与氧气混合及配比的过程，其中氧气来自产生火焰“热柱”效应的大气中。图1—8进一步解释了扩散火焰燃烧的过程。关于扩散火焰燃烧过程的化学和物理解释，目前有三种理论，即燃烧三角形、燃烧活性循环和燃烧四面体。

燃烧三角形

燃烧三角形是用图解来说明已被人们公认的燃烧三要素的，这三要素就是燃料、热和氧气。

燃料

燃料在常温常压下可以是固体、液体或气体。而燃烧三角形中的燃料指的是以气体或蒸气形态存在的燃料。对于燃料的燃烧性来说，其挥发性是很重要的。在燃料与环境的关系中，重要的变量是燃料分布的几何形状、燃料表面积与其体积的比率和燃料间的相对位置。埃蒙斯（3）指出，扩散火焰燃烧取决于燃料的几何分布，而这又与燃料转化成气相的量以及燃料蒸气同大气中的氧气相混和的比例有关系。这些成比例的蒸气——空气混合物在放热的化学反应过程中加速热化，放出更多的热能。只要建立起必要的“反馈”作用过程，即不断地将燃料转化成蒸气状态，

并使燃料蒸气在“热柱”中与空气成比例地混合，这种扩散火焰燃烧过程就会持续下去。燃料的表面必须预热并使其挥发，这一般是通过放出的反馈热能进行的。燃烧产物也必须从燃烧区域迁移出去，以补充更多的燃料蒸气与氧气成比例的混合气体。

氧气

扩散火焰燃烧过程所需要的氧气通常是来自大气，当我们考虑选用抑制剂时，记住这一点是很重要的。劳（5）指出在有限空间内发生的火灾，可按它们的燃烧速率分为两种类型。一类是受空气限制或氧气控制的火灾，这种情况的通风量是被限制的，燃烧速率取决于由



图1-1 燃烧三角形

窗户或其它开口流进的空气量，或者取决于机械通风系统所供给的空气量。第二种类型的火灾常常发生在房间内的窗户或其它开口的面积等于或大于楼板面积的场所，燃烧所需的氧气供应充分，火灾大小由自由燃烧的燃料来控制。这种受燃料控制的火灾，其燃烧速率取决于燃料负荷、燃料表面积与体积的比率和燃料分布的几何形状。消防员通常把受燃料控制的火灾叫作充分通风的火灾。

麦克雷（7）提出固体燃料完全燃烧所需空气的理论量。完全燃烧含10,000英热单位潜热的固体燃料所需空气量大约为7.5磅，即约93立方英尺的干空气或99.5立方英尺的水蒸气饱和的空气。

大多数火灾往往都是在燃料受热并热解或挥发出燃料蒸气后才发火燃烧的。燃料蒸气和氧气首先以燃料控制燃烧的方式形成适当的比例，这是因为初起火所涉及的燃料量有限而房间内的氧气则是过量的。然而当更多的燃料和空气参与燃烧反应时，典型

房间或舱室内的火灾就变成为由空气来控制的了，此时燃烧反应就依靠流进房间或舱室内的空气而形成稳定的燃烧状态。很明显，倘若扩散火焰燃烧不是在舱室内、建筑物内或其它封闭空间内进行的话，那么其初起阶段和持续燃烧阶段都是由燃料控制燃烧的。货场、码头、木料场、建筑物的屋顶或外墙上的火灾以及交通车辆或飞机的火灾，皆属于受燃料控制的火灾。对于由空气控制的火灾最有效的扑救方法是用抑制剂来取代、稀释或抑制大气中的氧气含量；而对于由燃料控制的火灾最有效的扑救方法是用抑制剂来改变燃料的表面层，减少燃料受到的辐射热和对流热，以及用化学的或物理的方法改变燃烧床的结构。

热

燃烧三角形中的第三要素——热是由扩散火焰燃烧过程的初起和持续阶段产生的能量供给的。开始时必须有起燃能量作用于燃料蒸气和氧气的混合物，以便点燃这种按化学当量配比的混合物，而形成火（灾）。许多灭火剂是有效的，因为它们能化学地或物理地影响传热过程。扩散火焰燃烧连续性所需要的传热过程促使固体和液体燃料产生或转化成蒸气状态，并聚集足够的热能以点燃燃料蒸气和氧气的混合物。灭火剂可以把燃料表面层或界面与辐射热、对流热、或传导热分隔开来，以减少热能作用，阻止燃料蒸气与空气混合物的形成。泡沫灭火剂正是运用这一化学——物理原理，在固体或液体燃料的表面上形成一层覆盖层。泡沫设备的其它灭火机理将在第三章里详细讨论。读者应参阅本章的图 1—14。

在这一节的分析中我们仅仅探讨了热与扩散火焰燃烧的连续性的关系，而不对燃烧的起燃过程进行详细论证。迈德尔（8）已在他的题为“易燃危险物品”一书中透彻地论述了起燃过程。

将燃烧三角形（见图 1—1）所表示的扩散火焰燃烧理论的上述论点和假设同鲍威尔（9）提出的燃烧活性循环概念的理论

相对照和比较是很重要的。

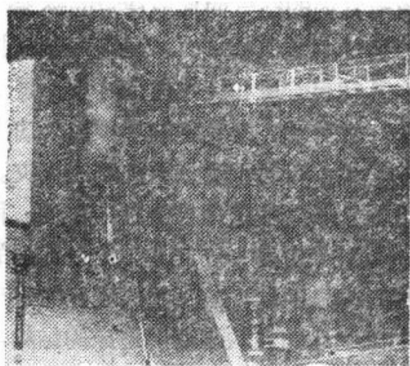


图1—2 在商业建筑中由空气控制的火灾

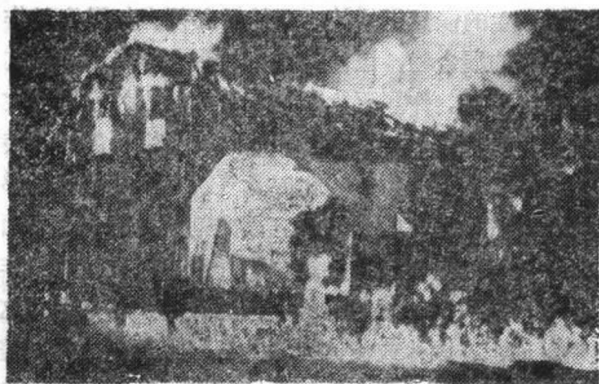


图1—3 由燃料控制的火灾

燃烧活性循环

鲍威尔提出的燃烧活性循环理论实质上是燃烧三角形概念的详细描述。火（灾）的本质就是显现出光和热，尤其是火焰的燃烧。

根据鲍威尔的理论，在燃烧活性循环的理论概念中有六个可

鉴别的和可观察到的变量：

- | | |
|---------|-----------|
| 1. 输入热量 | 2. 燃料 |
| 3. 氧气 | 4. 配比 |
| 5. 混合 | 6. 点燃的连续性 |

输入热量

鲍威尔解释了作为起燃热能的输入热量是用来使固体燃料产生易燃的燃料蒸气的。要引发一个扩散火焰燃烧反应必需有输入热的热源，如果燃烧要继续发展并扩散到邻近的燃料蒸气源的话，则它必须有自生输入热的连续热源。

燃料

燃烧活性循环中的燃料，其理论与燃烧三角形基本相同。这个理论认为，要从固体中产生和蒸馏出燃料蒸气，输入热量的作用是很重要的。此外，对于闪点高于常温的液体和一些固体燃料，作为一个主要因素来强调的就是要求有足够的热量输入，以便把燃料温度升高到闪点。例如，煤油、柴油、重油和石蜡便是这样的液体和固体。在“钱伯技术词典”（11）中，闪点的定义为：

闪点—放在克利夫兰杯内（开口试验）或放在彭斯基—马顿斯仪内（密闭试验）并被加热的液体所达到的某限定温度值，在这个温度时，液体能蒸发产生足够的蒸气，一个很小的火焰就能使其发生瞬时闪光燃烧。

液体的燃点是液体蒸发放出足够量的蒸气并能发生连续燃烧时的液体温度，与表示闪点特征的火花初闪大不相同。对某给定液体来说，燃点一般都比闪点高几度。燃料的点燃温度是点燃可燃蒸气和氧气的混合物并开始扩散火焰燃烧所必需的温度。一般火灾中所涉及的纤维材料和纤维物品的点燃温度随燃料的下列各种重要因素而变：燃料的几何形状、表面积与体积的比率、密度和孔隙率、含水量、以及燃料堆放或分布情况。

闪点高于通常环境温度范围的燃料，在其液体蒸发出足够量的可燃蒸气并与氧气形成一定比例的混合物从而产生初闪火焰之前，需输入热能。初闪火焰被看作和试验仪器里的闪燃一样，因此，这时的最低温度就等于液体的闪点。

氧气

在燃烧活性循环的理论中，鲍威尔把空气作为燃烧的氧气源。他指出在洁净的空气中，大气通常由20.9%的氧气和79.1%的氮气组成。但由于污染，以及涉及到扩散火焰燃烧的实际应用上，近似地取氧气为20%，氮气为80%是合适的。

扩散火焰燃烧在形成空气流的“热柱”中所产生的热对流是极为重要的现象。依靠这个“热柱”，氧气和氮气才能进入燃烧区域，并为燃料蒸气的配比需要提供了氧气。燃烧对流“热柱”所形成的基本流体—空气的流量是使火灾变成为由空气控制的火灾的决定性因素之一。如果着火房间的通风口或空气流量受到限制，那么燃烧废气的排出就会受到限制，而空气的流进也相应地受到限制。因此，房间内对流的气流势必会把燃烧废气再循环引进燃烧区域，更进一步减少了进入燃烧区域的氧气量，从而限制了燃烧速率。

要通晓燃料蒸气和氧气的化学当量配比关系中所涉及到的物理和化学机理，就需要懂得燃料和氧气混合物的易燃范围的概念。混合物的易燃范围通常是用空气和燃料蒸气的体积百分比来度量的，在这个配比范围内该气体混合物能被某一给定量的输入热点燃。输入热的强度用温度来度量，而能量强度则是用辐射到燃料表面上的能量大小来度量的。劳在她的辐射强度和建筑物间距的研究中，曾发表过下述有关点火火舌的观察结果：

假如一个点火用的火焰直接接触到木头表面，则当火焰入射的热辐射强度小于0.3卡/平方厘米/秒时就可能点燃木头。

某燃料蒸气与空气混合，如果混合物的百分比浓度在易燃范

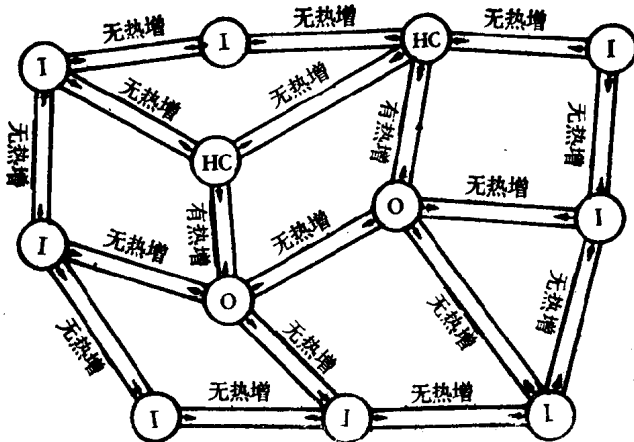
围之上或之下，则这种混合物就不能被点燃，即使用一相当有效的点火火焰也不能点燃它。燃烧活性循环的另一个要素就是燃料蒸气和氧气混合物的适当浓度，鲍威尔把它定义为配比。

配比

鲍威尔把气体混合并达到易燃浓度范围的过程定义为配比。为通俗起见，将燃料蒸气限定为烃类分子，并且规定空气中的氮气约占80%，氧气约占20%，这样，我们就可以把配比解释为氧气分子和烃类分子之间的相互碰撞现象。由热能反馈而导致扩散火焰燃烧反应连续进行的最有效的分子碰撞，仅仅是氧气分子和烃类分子之间的碰撞。大气中有一个氧分子进入燃烧区，同时就有四个惰性的氮分子进入燃烧区。图1—4是热能增加几率的符号式原理图，表示由两个单位的空气和两个烃类分子组成的燃料—空气混合物燃烧反应的连锁情况。这里每个单位的空气含有一个氧分子和四个氮气或惰性气体分子。

燃料和空气混合物中的分子运动速度随混合物的温度而变化，而分子运动方向则取决于分子之间的碰撞，因为每次分子碰撞都改变了分子的行程。正如我们已经指出的那样，鉴于气体温度决定分子的运动速度，因此与分子碰撞有关的能量和力都将随着燃料和空气分子温度的增加而增加。因为分子的活力随温度而增加，所以温度每增加 18°F ，某给定反应的速度就增加100%。于是，在扩散火焰燃烧的化学—物理反应中，整个燃烧区内的燃料和空气分子之间的碰撞力和速度的惊人增加就变得使人可以理解了。

分析一下图1—4，我们就会发现当燃料和空气混合物的浓度高于易燃极限范围的上限，即燃料是过剩时，烃类分子与烃类分子之间的碰撞太多，而藉以维持扩散火焰燃烧反应所需足够热能的氧气分子与烃类分子之间的碰撞则太少。当混合物的浓度低于易燃下限，燃料过少时，则氮气分子与氧气分子之间的碰撞太



图中：I~代表一个惰性气体分子，如N₂，O~代表一个氧分子，O₂，HC~代表一个烃类分子

分子碰撞	结果
惰性气体—惰性气体	无热（能）增加
惰性气体—氧气	无热（能）增加
氧气—氧气	无热（能）增加
惰性气体—碳氢化合物	无热（能）增加
碳氢化合物—碳氢化合物	无热（能）增加
氧气—碳氢化合物	有热（能）增加

图1-4 分子间的碰撞

多，而没有足够的氧气分子与烃类分子的碰撞来维持混合物的温度，不能使其等于或大于混合物的自燃温度。

举一个例子，假定有一个单位的汽油蒸气根据汽油的易燃范围，它就必须与12个到70个单位的空气混合，才能起燃或维持扩散火焰燃烧反应。一个单位的烃类蒸气至少必须有12个单位的空气中的氧分子存在。而一个烃类分子在得到空气中的12个氧分子的同时，也得到了四倍的或48个氮气分子。因此，氧气—氮气分子碰撞的几率等于氧气—烃类分子碰撞几率的四倍。要记住，任