

第一篇 消防基础知识

引言

火灾是失去控制的灾害性燃烧现象，是常发性灾害中发生频率较高的灾害之一。人们对火灾危害的认识由来已久，如何运用消防技术措施防止火灾发生、迅速扑灭已发生的火灾，一直是人们研究的一个重要课题。消防技术中涉及的火灾防治工程技术和消防安全设计与管理方法等内容，需要运用大量的自然科学知识和理论，这就要求从事消防专业技术工作的人员要认真研究火灾规律和特点，掌握必要的消防基础理论与技术手段，增强对火灾发生发展机制的科学认识，鉴别基本火灾现象，并能对消防基础知识的应用研究成果、工程应用领域和发展前景有较为全面的了解。

本篇消防基础知识部分主要针对社会消防专业技术人员执业需求，以国家有关法律法规、火灾基础理论等为依据，介绍了火灾及消防科学的基础理论、应用基础理论和应用技术的基本情况，全篇共分为四章十六节。其中，燃烧基础知识一章主要包括燃烧的条件，燃烧的类型，燃烧的方式与特点，燃烧产物等内容；火灾基础知识一章主要涉及火灾的定义、分类与危害，火灾发生的常见原因，建筑火灾蔓延的机理与途径，灭火的基本原理和方法等内容；爆炸基础知识一章中主要介绍了爆炸的概念及分类，爆炸极限的定义与应用，常见爆炸危险源等内容；易燃易爆危险品消防安全知识一章主要介绍了爆炸品，易燃气体，易燃液体，易燃固体、易于自燃的物质、遇水放出易燃气体的物质，氧化性物质和有机过氧化物五类易燃易爆危险品的概念、分类及其火灾危险性。

第一章 燃烧基础知识

学习要求

通过本章学习，应了解燃烧的必要条件？和充分条件？，掌握燃烧的四种类型？，熟悉气体、液体、固体燃烧的特点以及燃烧产物的概念和几种典型物质的燃烧产物。

燃烧基础知识主要包括燃烧条件、燃烧类型、燃烧方式与特点及燃烧产物等相关内容，是关于火灾机理及燃烧过程等最基础、最本质的知识。

第一节 燃烧条件

所谓燃烧，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。燃烧过程中，燃烧区的温度较高，使其中白炽的固体粒子和某些不稳定（或受激发）的中间物质分子内电子发生能级跃迁，从而发出各种波长的光；发光的气相燃烧区就是火焰，它是燃烧过程中最明显的标志；由于燃烧不完全等原因，会使产物中混有一些小颗粒，这样就形成了烟。

一、燃烧的必要条件

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，但是没有火焰产生，这种燃烧方式则是无焰燃烧，例如木炭的燃烧。

燃烧的发生和发展，必须具备三个必要条件，即可燃物、氧化剂和温度（引火源）。当燃烧发生时，上述三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或者停止发生。如图1-1-1



图1-1-1 着火三角形

进一步研究表明，有焰燃烧的发生和发展除了具备上述三个条件以外，因其燃烧过程中还存在未受抑制的自由基（一种高度活泼的化学基团，能与其他自由基和分子起反应，从而使燃烧按链式反应的形式扩展，也称游离基）作中间体，因此，有焰燃烧发生和发展需要四个必要条件，即可燃物、氧化剂、温度和链式反应。

（一）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，如木材、氢气、汽油、煤炭、纸张、硫等。可燃物按其化学组成，分为无机可燃物和有机可燃物两大类。按其所处的状态，又可分为可燃固体、可燃液体和可燃气态三大类。

（二）氧化剂（助燃物）

凡是与可燃物结合能导致和支持燃烧的物质，称为助燃物，如广泛存在于空气中的氧气。普通意义上，可燃物的燃烧均指在空气中进行。

（三）引火源

凡是能引起物质燃烧的点燃能源，统称为引火源。一般分直接火源和间接火源两大类。了解火源的种类和形式，对有效预防火灾事故的发生具有十分重要的意义。

1. 直接火源 （归纳能看见的和不能看见的火源）

（1）明火。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、飞火等。

（2）电弧、电火花。指电气设备、电气线路、电气开关及漏电打火；电话、手机等通讯工具火花；静电火花（物体静电放电、人体衣物静电打火、人体积聚静电对物体放电打火）等。

（3）雷击。瞬间高压放电的雷击能引燃任何可燃物。

2. 间接火源

（1）高温。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。

（2）自燃起火。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，如黄磷、烷基铝在空气中会自行起火；钾、钠等金属遇水着火；易燃、可燃物质与氧化剂、过氧化物接触起火等。

（四）链式反应

很多燃烧反应不是直接进行的，而是通过游离基团和原子这些中间产物在瞬间进行的循环链式反应。游离基的链锁反应是燃烧反应的实质，光和热是燃烧过程中的物理现象。

二、燃烧的充分条件

可燃物、氧化剂和引火源是无焰燃烧的三个必要条件，但燃烧的发生需要三个条件达到一定量的要求，并且存在相互作用的过程，这就是燃烧的充分条件。对于有焰燃烧，还包括未受抑制的链式反应。

（一）一定的可燃物浓度

可燃气体或可燃液体的蒸气与空气混合只有达到一定浓度，才会发生燃烧或爆炸。例如，常温下用明火接触煤油，煤油并不立即燃烧，这是因为在常温下煤油表面挥发的煤油蒸气量不多，没有达到燃烧所需的浓度，虽有足够的空气和火源接触，也不能发生燃烧。灯用煤油在40℃以下、甲醇在低于7℃时，液体表面的蒸汽量均不能达到燃烧所需的浓度。（407医院用煤油炖甲醇）

（二）一定的助燃物浓度

各种不同的可燃物发生燃烧，均有本身固定的最低氧含量要求。氧含量低于这一浓度，即使其他必要条件已经具备，燃烧仍不会发生。如：汽油的最低氧含量要求为14.4%，煤油为15%，乙醚为12%。

（三）一定的点火能量

各种不同可燃物发生燃烧，均有本身固定的最小点火能量（见本篇第三章第三节）要求。达到这一能量才能引起燃烧反应，否则燃烧便不会发生。如：汽油的最小点火能量为0.2mJ，乙醚（5.1%）为0.19 mJ，甲醇（2.24%）为0.215 mJ。

（四）燃烧条件的相互作用

燃烧要发生，必须使以上三个条件相互作用。要求每种条件都要达到一定的量，而且其中一个量的变化又会影响燃烧时对其他条件量的要求。如氧浓度的变化就会改变可燃气体、液体和部分可燃物的燃点。在实际情况下，对燃烧产生影响的条件还有很多：比如液态和气态可燃物，压力和温度对燃烧的影响就较大，当点火能量是电火花时，还要考虑电极间隙距离。又比如一般情况下，相同质量的固态可燃物与空气接触的表面积越大，燃烧所需的点火能量就越小。

（五）未受抑制的链式反应

对有焰燃烧，根据燃烧的链锁反应理论，因燃烧过程中存在未受抑制的游离基（自由基）作中间体，考虑游离基参加燃烧反应的附加维，从而形成着火四面体，如图1-1-2。自由基是一种高度活泼的化学基团，能与其他的自由基和分子起反应，从而使燃烧按链式反应的形式扩展。因此，有焰燃烧的发生需要未受抑制的链式反应。

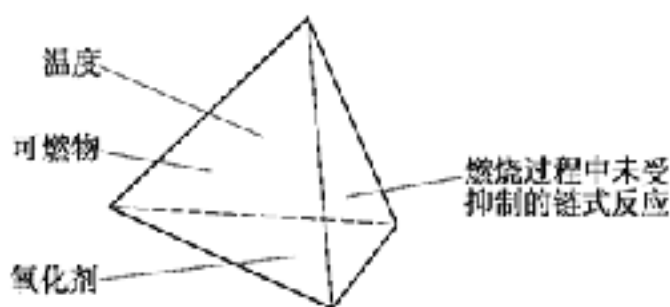


图1-1-2 着火四面体

第二节 燃烧类型

燃烧可从着火方式、持续燃烧形式、燃烧物形态、燃烧现象等不同角度做不同的分类。掌握燃烧类型的有关常识，对于了解物质燃烧机理、火灾危险性的评定，有着重要的意义。

一、燃烧类型分类

按照燃烧形成的条件和发生瞬间的特点，可分为四种类型。

（一）闪燃

闪燃是指易燃或可燃液体（包括可熔化的少量固体，如石蜡、樟脑、萘等）挥发出来的蒸气分子与空气混合后，达到一定的浓度时，遇火源产生一闪即灭的现象。发生闪燃的原因是：易燃或可燃液体在闪燃温度下蒸发的速度比较慢，蒸发出来的蒸气仅能维持一刹那的燃烧，来不及补充新的蒸气维持稳定的燃烧，因而一闪就灭了。但闪燃却是引起火灾事故的先兆之一。闪点即是指易燃或可燃液体表面产生闪燃的最低温度。

（二）着火

可燃物在与空气共存的条件下，当达到某一温度时，与着火源接触即能引起燃烧，并在着火源离开后仍能持续燃烧，这种持续燃烧的现象叫着火。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。如用火柴去点柴草、汽油、液化石油气等，就会引起它们着火。可燃物开始持续燃烧所需的最低温度称为着火点，即燃点。

（三）自燃

可燃物质在没有外部火花、火焰等火源的作用下，因受热或自身发热并蓄热所产生的自然燃烧，称为自燃。即物质在无外界引火源条件下，由于其本身内部所发生的生物、物理或化学变化而产生热量并积蓄，使温度不断上升，自然燃烧起来的现象。自燃点是指可燃物发生自燃的最低温度。

(1)化学自燃`不需要外部加热`

(2)热自燃`需要外部加热`

根据热的来源不同，可将自燃分为受热自燃和本身自燃两种。受热自燃是指没有外界明火的直接作用，而是受外界热源影响引起的自燃。引起受热自燃的主要原因有接触灼热物体、直接用火加热、摩擦生热、化学反应、绝热压缩、热辐射作用。**本身自燃**是指没有外界热源作用，靠物质内部发生生物、物理、化学等作用产生热量引起的自燃。引起本身自燃的原因有**氧化生热、分解生热、聚合生热、吸附生热、发酵生热**（5 吸氧分聚发）。黄磷暴露于空气中自燃是最典型的本身自燃现象。

部分植物或其产物，如**干草、谷草、麦秸、稻草、三叶草、树叶、麦芽、锯末、甘蔗渣、苞米芯、原棉、苕麻**等，部分浸油物品，如**浸有油脂的棉花、棉纱、棉布、纸、麻、毛、丝绸和金属粉末**等，是常见的自燃物质。

（四）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、蒸气在瞬间发生的**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产生破坏作用的原因。作为燃烧类型之一的爆炸主要指化学爆炸，关于爆炸的具体分类及其各自特点详见本篇第三章第一节。

二、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。

（一）闪点

1. 闪点的定义

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，遇火源**能够闪燃**的液体**最低温度**（采用闭杯法测定），称为闪点。

2. 闪点的意义

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。闪点与可燃性液体的饱和蒸气压有关，饱和蒸气压越高，闪点越低。当液体的温度高于其闪点时，液体随时有可

能被火源引燃或发生自燃，若液体的温度低于闪点，则液体是不会发生闪燃的，更不会发生着火。常见的几种易燃或可燃液体的闪点如表1-1-1所示。

表1-1-1 常见的几种易燃或可燃液体的闪点

名称	闪点（℃）	名称	闪点（℃）
汽油	- 50	二硫化碳	- 30
煤油	38 ~ 74	甲醇	11
酒精	12	丙酮	- 18
苯	- 14	乙醛	- 38
乙醚	- 45	松节油	35

3. 闪点在消防上的应用

闪点是判断液体火灾危险性大小以及对可燃性液体进行分类的主要依据。可燃性液体的闪点越低，其火灾危险性也越大。例如，汽油的闪点为- 50℃，煤油的闪点为38 ~ 74℃，显然汽油的火灾危险性就比煤油大。根据闪点的高低，可以确定生产、加工、储存可燃性液体场所的火灾危险性类别：**闪点 < 28℃的为甲类；闪点≥28℃至 < 60℃的为乙类；闪点≥60℃的为丙类**（详见第二篇第二章）。

（二）燃点

1. 燃点的定义

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。

2. 常见可燃物的燃点

可燃物的温度没有达到燃点时是不会着火的，物质的燃点越低，越易着火。某些常见可燃物的燃点如表1-1-2所示。

表1-1-2 几种常见可燃物的燃点

物质名称	燃点（℃）	物质名称	燃点（℃）
蜡烛	190	棉花	210 ~ 255
松香	216	布匹	200
橡胶	120	木材	250 ~ 300
纸张	130 ~ 230	豆油	220

3. 燃点与闪点的关系

易燃液体的**燃点一般高出其闪点1 ~ 5℃**，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。对于闪点在100℃以上的可燃液体，闪点和燃点差值达30℃，这类液体一般情况下不易发生闪燃，也不宜用闪点去衡量它们的火灾危险性。固体的火灾危险性大小一般用燃点来衡量。

（三）自燃点

1. 自燃点的定义

在规定的条件下，可燃物质产生自燃的最低温度，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。

2. 常见可燃物的自燃点

自燃点是衡量可燃物质受热升温导致自燃危险的依据。可燃物的自燃点越低，发生自燃的危险性就越大。某些常见可燃物在空气中的自燃点如表1-1-3所示。

表1-1-3 某些常见可燃物在空气中的自燃点

物质名称	自燃点（℃）	物质名称	自燃点（℃）
氢气	400	丁烷	405
一氧化碳	610	乙醚	160
硫化氢	260	汽油	530 ~ 685
乙炔	305	乙醇	423

3. 影响自燃点变化的规律

不同的可燃物有不同的自燃点，同一种可燃物在不同的条件下自燃点也会发生变化。可燃物的自燃点越低，发生火灾的危险性就越大。

对于液体、气体可燃物，其自燃点受压力、氧浓度、催化、容器的材质和内径等因素的影响。而固体可燃物的自燃点，则受受热熔融、挥发物的数量、固体的颗粒度、受热时间等因素的影响。

第三节 燃烧方式与特点

可燃物质受热后，因其聚集状态的不同，而发生不同的变化。绝大多数可燃物质的燃烧都是在蒸气或气体的状态下进行的，并出现火焰。而有的物质则不能成为气态，其燃烧发生在固相中，如焦炭燃烧时，呈灼热状态，而不呈现火焰。由于可燃物质的性质、状态不同，燃烧的特点也不一样。

一、气体燃烧的特点

可燃气体的燃烧不需像固体、液体那样需经熔化、蒸发过程，所需热量仅用于氧化或分解，或将气体加热到燃点，因此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不同，其燃烧方式分为扩散燃烧和预混燃烧。

（一）扩散燃烧

即可燃性气体和蒸气分子与气体氧化剂互相扩散，边混合边燃烧。在扩散燃烧中，化学反应速度要比气体混合扩散速度快得多。整个燃烧速度的快慢由物理混合速度决定。气体（蒸气）扩散多少，就烧掉多少。人们在生产、生活中的用火（如燃气做饭、点气照明、烧气焊等）均属这种形式的燃烧。

扩散燃烧的特点为：燃烧比较稳定，扩散火焰不运动，可燃气体与氧化剂气体的混合在可燃气体喷口进行。对稳定的扩散燃烧，只要控制得好，就不至于造成火灾，一旦发生火灾也较易扑救。

（二）预混燃烧

又称动力燃烧或爆炸式燃烧。它是指可燃气体、蒸气或粉尘预先同空气（或氧）混合，遇火源产生带有冲击力的燃烧。预混燃烧一般发生在封闭体系中或在混合气体向周围扩散的速度远小于燃烧速度的敞开体系中，燃烧放热造成产物体积迅速膨胀，压力升高，压强可达709.1 ~ 810.4kPa。通常的爆炸反应即属此种。

预混燃烧的特点为：燃烧反应快，温度高，火焰传播速度快，反应混合气体不扩散，在可燃混气中引入一火源即产生一个火焰中心，成为热量与化学活性粒子集中源。如果预混气体从管口喷出发生动力燃烧，若流速大于燃烧速度，则在管中形成稳定的燃烧火焰，由于燃烧充分，燃烧速度快，燃烧区呈高温白炽状，如汽灯的燃烧即是如此。若混气在管口流速小于燃烧速度，则会发生“回火”。如制气系统检修前不进行置换就烧焊，燃气系统开车前不进行吹扫就点火，用气系统产生负压回火或者漏气未被发现而用火时，往往形成动力燃烧，有可能造成设备的损坏和人员伤亡。

二、液体燃烧的特点

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。因此，液体能否发生燃烧、燃烧速率高低，与液体的蒸气压、闪点、沸点和蒸发速率等性质密切相关。

常见的可燃液体中，**液态烃类燃烧**时，通常具有橘色火焰并散发浓密的黑色烟云。**醇类燃烧**时，通常具有透明的蓝色火焰，几乎不产生烟雾。**某些醚类燃烧**时，液体表面伴有明显的沸腾状，这类物质的火灾较难扑灭。在含有水分、粘度较大的重质石油产品，如原油、重油、沥青油等发生燃烧时，有可能产生沸溢现象和喷溅现象。

（一）沸溢

以原油为例，其粘度比较大，且都含有一定的水分，以乳化水和水垫两种形式存在。所谓乳化水是原油在开采运输过程中，原油中的水由于强力搅拌成细小的水珠悬浮于油中而成。放置久后，油水分离，水因比重大而沉降在底部形成水垫。

燃烧过程中，这些沸程较宽的重质油品产生热波，在热波向液体深层运动时，由于温度远高于水的沸点，因而热波会使油品中的乳化水气化，大量的蒸气就要穿过油层向液面上浮，在向上移动过程中形成油包气的气泡，即油的一部分形成了含有大量蒸气气泡的泡沫。这样，必然使液体体积膨胀，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罐外，使液面猛烈沸腾起来，就像“跑锅”一样，这种现象叫沸溢。

从沸溢过程说明，沸溢形成**必须具备三个条件**：

- ①原油具有形成热波的特性，即沸程宽，比重相差较大；
- ②原油中含有乳化水，水遇热波变成蒸气；
- ③原油粘度较大，使水蒸汽不容易从下向上穿过油层。

（二）喷溅

在重质油品燃烧进行过程中，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，**向罐外喷射**，这种现象叫喷溅。

一般情况下，发生沸溢要比发生喷溅的时间早的多。发生沸溢的时间与原油的种类、水分含量有关。根据实验，含有1%水分的石油，经45~60min燃烧就会发生沸溢。喷溅发生的时间与油层厚度、热波移动速度以及油的燃烧线速度有关。

三、固体燃烧的特点

固体可燃物由于其分子结构的复杂性、物理性质的不同，其燃烧方式也不相同。主要有下列四种。

（一）蒸发燃烧

可熔化的可燃性固体受热升华或熔化后蒸发，产生可燃气体进而发生的有焰燃烧，称为蒸发燃烧。发生蒸发燃烧的固体，在燃烧前受热只发生相变，而成分不发生变化。一旦火焰稳定下来，火焰传热给蒸发表面，促使固体不断**蒸发或升华**燃烧，直至燃尽为止。分子晶体、挥发性金属晶体和有些低熔点的无定形固体的燃烧，如**石蜡、松香、硫、钾、磷、沥青和热塑性高分子材料**等燃烧，均为蒸发燃烧。燃烧过程总保持**边熔化、边蒸发、边燃烧**形式，固体有蒸发面的部分都会有

火焰出现，燃烧速度较快。**钾、钠、镁等之所以称为挥发金属**，因其燃烧属蒸发式燃烧，而生成**白色浓烟是挥发金属蒸发式燃烧的特征**。

（二）分解燃烧

分子结构复杂的固体可燃物，在**受热后分解出其组成成分**及与加热温度**相应的热分解产物**，这些分解产物再氧化燃烧，称为分解燃烧。如**木材、纸张、棉、麻、毛、丝、以及合成高分子的热固性塑料、合成橡胶**等燃烧。

煤、木材、纸张、棉花、农副产品等成分复杂的固体有机物，受热不发生整体相变，而是分解释放出可燃气体，燃烧产生明亮的火焰，火焰的热量又促使固体未燃部分的分解和均相燃烧。当固体完全分解且析出可燃气体全部烧尽后，留下的碳质固体残渣才开始无火焰的表面燃烧。

塑料、橡胶、化纤等高聚物，是由许多重复的较小结构单位（链节）所组成的大分子。绝大多数高分子材料都是易燃的，而且大部分发生分解式燃烧，燃烧放出的热量很大。一般说来，高聚物的燃烧过程包括受热软化熔融、解聚分解、氧化燃烧。分解产物随分解时的温度、氧浓度及高聚物本身的组成和结构不同而异。所有高聚物在分解过程中都会产生可燃气体，分解产生的较大分子会随燃烧温度的提高进一步蒸发热解或不完全燃烧。高聚物在火灾的高温下边熔化、边分解，边呈有焰均相燃烧，燃着的熔滴可把火焰从一个区域扩展到另一个区域，从而促使火灾蔓延发展。

（三）表面燃烧

可燃物受热不发生热分解和相变，可燃物质在被加热的表面上吸附氧，从表面开始呈余烬的燃烧状态叫表面燃烧（也叫无火焰的非均相燃烧）。

这类燃烧的典型例子，如焦炭、木炭和不挥发金属等的燃烧。表面燃烧速度取决于氧气扩散到固体表面的速度，并受表面上化学反应速度的影响。焦炭、木炭为多孔性结构的简单固体，即使在高温下也不会熔融、升华或分解产生可燃气体。氧扩散到固体物质的表面，被高温表面吸附，发生气固非均相燃烧，反应的产物从固体表面解吸扩散，带着热量离开固体表面。整个燃烧过程中固体表面呈高温炽热发光而无火焰，燃烧速度小于蒸发速度。

铝、铁等不挥发金属的燃烧也为表面燃烧。不挥发金属的氧化物熔点低于该金属的沸点。燃烧的高温尚未达到金属沸点且无大量高热金属蒸气产生时，其表面的氧化物层已熔化退去，使金属直接与氧气接触，发生无火焰的表面燃烧。由于金属氧化物的熔化消耗了一部分热量，减缓了金属被氧化，致使燃烧速度不快，固体表面呈炽热发光。这类金属在粉末状、气熔胶状、刨花状时，燃烧进行得很激烈，且无烟生成。

（四）阴燃

阴燃是指物质无可见光的缓慢燃烧，通常产生烟和温度升高的迹象。这种燃烧看不见火苗，可持续数天甚至数十天，不易发现。

1. 容易发生阴燃的状况

一些固体可燃物在空气不流通、加热温度较低或湿度较大的条件下发生干馏分解，产生的挥发成分未能发生有焰燃烧；固体材料受热分解，必须能产生刚性结构多孔性炭化材料。**常见易发生阴燃物质，如成捆堆放的棉、麻、纸张及大量堆放的煤、杂草、湿木材、布匹等。**

2. 阴燃和有焰分解燃烧的相互转化

在缺氧或湿度较大条件下发生火灾，由于燃烧消耗氧气及水蒸气的蒸发耗能，使燃烧体系氧气浓度和温度均降低，燃烧速度减慢，固体分解出的气体量减少，火焰逐渐熄灭，由有焰燃烧转为阴燃。如果通风条件改变，当持续的阴燃完全穿透固体材料时，由于对流的加强，会使空气流入量相对增大，供氧量增加，或可燃物中水分蒸发到一定程度，也可能由阴燃转变为有火焰的分解燃烧甚至爆燃。火场上的复燃现象和由于固体阴燃引起的火灾等，都是阴燃在一定条件下转化为有焰分解燃烧的例子。

固体的上述四种燃烧形式中，蒸发燃烧和分解燃烧都是有火焰的均相燃烧，只是可燃气体的来源不同。蒸发燃烧的可燃气体是相变产物，分解燃烧的可燃气体来自固体的热分解。固体的表面燃烧和阴燃，都是发生在固体表面与空气的界面上，呈无火焰的非均相燃烧。阴燃和表面燃烧的区别，就在于表面燃烧的过程中固体不发生分解。

第四节 燃烧产物

火灾中因燃烧而产生一类物质，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、磷等元素组成，燃烧生成的气体一般有一氧化碳、氰化氢、二氧化碳、丙烯醛、氯化氢、二氧化硫等。

一、燃烧产物的概念

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被氧化生成的CO₂（气）、H被氧化生成的H₂O（液）、S被氧化生成的SO₂（气）等；而CO、NH₃、醇类、醛类、醚类等是不完全燃烧产物。燃烧产物的数量、组成等随物质的化学组成及温度、空气的供给情况等的变化而不同。

燃烧产物中的烟主要是燃烧或热解作用所产生的悬浮于大气中能被人们看到的直径一般在10⁻⁷至10⁻⁴cm之间的极小的炭黑粒子，大直径的粒子容易由烟中落下来称为烟尘或炭黑。炭粒子的形成过程比较复杂。例如炭氢可燃物在燃烧过程中，会因受热裂解产生一系列中间产物，中间产物还会进一步裂解成更小的碎片，这些小碎片会发生脱氢、聚合、环化等反应，最后形成石墨化碳粒子，构成了烟。

二、几类典型物质的燃烧产物

按照构成状态可将物质分为纯净物和混合物。由一种物质构成的称为纯净物（即只能写出一个化学分子式的），由不同物质构成的称为混合物。

（一）单质的燃烧产物

由一种元素构成的纯净物，称为单质，如碳、氢、硫等。一般单质在空气中完全燃烧，其产物为构成该单质的元素的氧化物，如二氧化碳、水、二氧化硫等。一些单质在空气中燃烧除生成完全燃烧产物外，还会生成不完全燃烧产物。最典型的不完全燃烧产物是一氧化碳，它能进一步燃烧生成二氧化碳。

（二）化合物的燃烧产物

与单质相对，由两种或两种以上元素组成的纯净物称为化合物。其中，高分子化合物是指由众多原子或原子团主要以共价键结合而成的相对分子量在一万以上的化合物。对于一些高分子化合物，受热后会产生热裂解，生成许多不同类型的有机化合物，并能进一步燃烧。有些不完全燃烧产物能与空气形成爆炸性混合物，导致火势的突变。

（三）合成有机高分子材料的燃烧产物

合成有机高分子材料属混合物，主要是以煤、石油、天然气为原料制得的如塑料、橡胶、合成纤维、薄膜、胶粘剂和涂料等，其中塑料、合成橡胶和合成纤维被称为现代三大合成有机高分子材料。合成有机高分子材料在燃烧过程中伴有热裂解，会分解产生许多有毒或有刺激性的气体，如氯化氢（HCl）、光气（COCl₂）、氰化氢（HCN）及氧化氮（NO_x）等。

（四）木材的燃烧产物

木材是一种由碳、氢、氧等元素组成混合物，主要以纤维素（C₆H₁₀O₅）X分子形式存在。木材在受热后发生热裂解反应，生成小分子产物。在200℃左右开始，即生成二氧化碳、水蒸气、甲酸、乙酸、一氧化碳等产物。

三、燃烧产物的危害性

统计资料表明，火灾中死亡人数大约75%是由于吸入毒性气体而致死的。燃烧产物中含有大量的有毒成分，如一氧化碳、氰化氢、二氧化硫、二氧化氮等。这些气体均对人体有不同程度的危害。常见的有害气体的来源、生理作用及致死浓度见表1-1-4。

表1-1-4 一些主要有害气体的来源、生理作用及致死浓度

来 源	主要的生理作用	短期（10min）估计致死浓度（ppm）
木材、纺织品、聚丙烯腈尼龙、聚氨脂等物质燃烧时分解出的氰化氢（HCN）	一种迅速致死、室息性的毒物	350
纺织物燃烧时产生二氧化氮（NO2）和其他氮的氧化物	肺的强刺激剂，能引起即刻死亡及滞后性伤害	> 200
由木材、丝织品、尼龙以及三聚氰胺燃烧产生的氨气（NH3）	强刺激性，对眼、鼻有强烈刺激作用	> 1000
PVC电绝缘材料，其他含氯高分子材料及阻燃处理物热分解产生的氯化氢（HCl）	呼吸刺激剂，吸附于微粒上的HCl的潜在危险性较之等量的HCl气体要大	> 500，气体或微粒存在时
氟化树脂类或薄膜类以及某些含溴阻燃材料热分解产生的含卤酸气体	呼吸刺激剂	HF≈400 COF2≈100 HBr > 500
含硫化合物及含硫物质燃烧分解产生的二氧化硫（SO2）	强刺激剂，在远低于致死浓度下即使人难以忍受	> 500
由聚烯烃和纤维素低温热解（400℃）产生的丙醛	潜在的呼吸刺激剂	30 ~ 100

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，但当达到一定的浓度时，会刺激人的呼吸中枢，导致呼吸急促、烟气吸入量增加，并且还会引起头痛、神志不清等症状。而一氧化碳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，引起头痛、虚脱、神志不清等症状和肌肉调节障碍等。一氧化碳对人的影响见表1-1-5。

表1-1-5 一氧化碳对人的影响

影 响 情 况	CO浓度（ppm）	碳氧血红蛋白浓度（HbCO %）
在其中工作8h的允许浓度	50	-
暴露1h不产生明显影响的浓度	400 ~ 500	-
1h暴露后有明显影响	600 ~ 700	-
1h暴露后引起不适，但无危险症状的浓度	1000 ~ 1200	-
暴露1h后有危险	1500 ~ 2000	35
在1h内即会致死	4000及以上	50

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λ为0.4 ~ 0.7μm，一般火灾烟气中的烟粒子粒径d为几μm到几十μm，由于d>2λ，烟粒子对可见光是不透明的。烟气在火场上弥漫，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，烟气中有些气体对人的肉眼有极大的刺激性，使人睁不开眼而降低能见度。试验证明，室内火灾在着火后大约15min左右，烟气的浓度最大，此时人们的能见距离一般只有数十厘米。

本章思考题

1. 燃烧的必要条件是什么?
2. 如何理解燃烧的充分条件?
3. 燃烧有哪些类型?
4. 固体、气体、液体燃烧各自有哪些类型和特点?
5. 举例说明燃烧产物（包括烟）有哪些毒害作用? 其危害性主要体现在哪几个方面?

参考文献

- [1]消防燃烧学.中国人民公安大学出版社.1997.
- [2]中国消防手册（第一卷）.上海科学技术出版社.2010.
- [3]灭火救援员.中国科学技术出版社.2013.
- [4]降服火魔之术.山东科学技术出版社.2001.

第二章 火灾基础知识

学习要求

通过本章的学习，应了解火灾的定义与分类，了解火灾的危害性和火灾发生的常见原因，熟悉火灾蔓延的机理与途径以及灭火的基本原理与方法。

火灾基础知识主要包括火灾的定义、分类与危害，火灾发生常见的原因，建筑火灾蔓延的机理与途径，灭火的基本原理和方法等内容。

第一节 火灾的定义、分类与危害

火灾是灾害的一种，导致火灾的发生既有**自然因素**，又有许多**人为因素**。掌握火灾的定义、分类及其危害特性，是了解火灾规律、研究如何防范火灾的基础。

一、火灾的定义

根据国家标准《消防基本术语（第一部分）》GB5907，**火灾是指在时间或空间上失去控制的燃烧所造成的灾害。**

二、火灾的分类

根据不同的需要，火灾可以按不同的方式进行分类。

（一）按照燃烧对象的性质分类

按照国家标准《火灾分类》GB/T4968-2008的规定，火灾分为A、B、C、D、E、F**六类**。

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。如木材、棉、毛、麻、纸张火灾等。

B类火灾：**液体或可熔化固体物质火灾**。如汽油、煤油、原油、甲醇、乙醇、沥青、石蜡火灾等。

C类火灾：**气体火灾**。如煤气、天然气、甲烷、乙烷、氢气、乙炔等。

D类火灾：**金属火灾**。如钾、钠、镁、钛、锆、锂等。

E类火灾：**带电火灾**。物体带电燃烧的火灾。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**（如动植物油脂）火灾。

（二）按照火灾事故所造成的灾害损失程度分类

依据国务院2007年4月6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**四个等级。

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**5000万元以上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**1000万元以上5000万元**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1000万元以下直接财产损失的火灾。

注：“以上”包括本数，“以下”不包括本数。

三、火灾的危害

（一）危害生命安全

建筑物火灾会对人的生命安全构成严重威胁。一场大火，有时会吞噬几十人、甚至几百人的生命。据统计，2010～2012年，全国共发生火灾40.93万起，造成3242人死亡、1720人受伤，年均较大以上火灾60余起。2000年12月25日，河南省洛阳东都商厦火灾，致309人死亡。2013年6月3日，吉林省宝源丰禽业有限公司火灾，造成120人遇难、77人受伤。建筑物火灾对生命的威胁主要来自以下几方面：首先是建筑物采用的许多**可燃性材料或高分子材料**，在起火燃烧时产生**高温高热**，对人员的肌体造成严重伤害，甚至致人休克、死亡，据统计，因燃烧热造成的人员死亡约占整个火灾死亡人数的近1/4。其次，建筑材料燃烧过程中释放出的一氧化碳、氰化物等有毒烟气，吸入后会产生呼吸困难、头痛、恶心、神经系统紊乱等症状，威胁生命安全。在所有火灾死亡的人中，约有3/4的人系吸入有毒有害烟气后直接导致死亡。再次，建筑物经燃烧，达到甚至超过了承重构件的耐火极限，导致建筑整体或部分**构件坍塌**，造成人员伤亡。2003年11月3日，湖南省衡阳市衡州大厦火灾，由于燃烧时间长，建筑构件本身存在问题，最终建筑物坍塌，20名消防员牺牲。

（二）造成经济损失（人、财、生态、文化、心理 5种）

火灾造成的经济损失主要以建筑火灾为主。体现在以下几个方面：首先，火灾使建筑物化为灰烬，甚至因火势蔓延而烧毁整幢建筑物内的财物。2004年12月21日，湖南省常德市鼎城区桥南市场发生特大火灾，过火建筑面积83276 m²，直接财产损失1.876亿元。其次，建筑物火灾产生的高温高热，将造成建筑结构的破坏，甚至引起建筑物整体倒塌。如2001年9月11日美国纽约世贸大厦，因飞机撞击后酿成大火，最后建筑垮塌。第三，建筑火灾产生的流动烟气，将使远离火焰的财物特别是精密电器、纺织物等受到侵蚀，甚至无法再使用。第四，扑救建筑火灾所用的水、干粉、泡沫等灭火剂，不仅本身是一种资源损耗，并且将使建筑内的财物遭受水渍、污染等损失。第五，建筑火灾发生后，因建筑修复重建、人员善后安置、生产经营停业等，会造成巨大的间接经济损失。

（三）破坏文明成果

一些历史保护建筑、文化遗址一旦发生火灾，除了会造成人员伤亡和财产损失外，大量文物、典籍、古建筑等诸多的稀世瑰宝面临烧毁的威胁，这将对人类文明成果造成无法挽回的损失。1923年6月27日，原北京紫禁城（现为故宫博物院）内发生火灾，将建福宫一带清宫贮藏珍宝最多的的殿宇楼馆烧毁，史料记载，共烧毁金佛2665尊、字画1157件、古玩435件、古书11万册，损失难以估量。1997年6月7日，印度南部泰米尔纳德邦坦贾武尔镇一座神庙发生火灾，使这座建于公元11世纪的人类历史遗产付之一炬。1994年11月15日，吉林省吉林市银都夜总会发生火灾，火势蔓延到相邻的博物馆，使7000万年前的恐龙化石以及其它大批珍贵文物毁于一旦。

（四）影响社会稳定

从许多火灾案例来看，当学校、医院、宾馆、办公楼等公共场所发生群死群伤恶性火灾，或涉及粮食、能源、资源等涉及国计民生的重要工业建筑发生大火时，极可能在民众中造成心理恐慌。家庭是社会细胞，普通家庭生活遭受火灾的危害，也将在一定范围内造成负面影响，损害群众的安全感，影响社会的稳定。

（五）破坏生态环境

火灾的危害不仅表现在毁坏财物、残害人类生命，而且还会严重破坏生态环境。如森林火灾的发生，会使大量的动植物灭绝，环境恶化，气候异常，干旱少雨，风暴增多，水土流失，导致生态平衡被破坏，引发饥荒和疾病的流行，严重威胁人类的生存和发展。2006年11月13日，中石油吉林石化公司双苯厂发生的火灾爆炸事故，事故产生的主要污染物苯、苯胺和硝基苯等有机物进入松花江，引发严重水体污染事件。

第二节 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。

一、电气

电气原因引起的火灾在我国火灾中居于首位，据有关资料显示，2012年，全国因电气原因引起的火灾占火灾总数的32.2%。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。其间接原因是由于电气设备故障或电器设备设置使用不当所造成，如将功率较大的灯泡安装在木板、纸等可燃物附近，将日光灯的镇流器安装在可燃基座上，以及用纸或布做灯罩紧贴在灯泡表面上等，在易燃易爆的车间内使用非防爆型的电动机、灯具、开关等。

二、吸烟

烟蒂和点燃烟后未熄灭的火柴梗虽然是个不大的火源，但它能引起许多可燃物质燃烧，在起火原因中，占有相当的比重。2012年，全国因吸烟引发的火灾占到了总数的6.2%。具体情况如将没有熄灭的烟头和火柴梗扔在可燃物中引起火灾；躺在床上，特别是醉酒后躺在床上吸烟，烟头掉在被褥上引起火灾；在禁止一切火种的地方吸烟引起火灾等案例很多。

三、生活用火不慎

主要是城乡居民家庭生活用火不慎，如炊事用火中炊事器具设置不当，安装不符合要求，在炉灶的使用中违反安全技术要求等引起火灾；家中烧香祭祀过程中无人看管，造成香灰散落引发火灾等。2012年，全国因生活用火不慎引发的火灾占到了总数的17.9%。

四、生产作业不慎

主要指违反生产安全制度引起火灾。比如，在易燃易爆的车间内动用明火，引起爆炸起火；将性质相抵触的物品混存在一起，引起燃烧爆炸；在用气焊焊接和切割时，飞进出的大量火星和熔渣，因未采取有效的防火措施，引燃周围可燃物；在机器运转过程中，不按时加油润滑，或没有清除附在机器轴承上面的杂质、废物，使机器这些部位摩擦发热，引起附着物起火；化工生产设备失修，出现可燃气体，易燃、可燃液体跑、冒、滴、漏现象，遇到明火燃烧或爆炸等。2012年，全国因生产作业不慎引发的火灾占到了总数的4.1%。

五、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，从而引发火灾。再如，一些电子设备长期处于工作或通电状态下，因散热不济，最终内部故障而引发火灾。

六、玩火

因小孩玩火造成火灾，是生活中常见的火灾原因之一。尤其在农村里，未成年儿童缺乏看管，玩火取乐，这一现象尤为常见。

此外，每逢节日庆典，不少人喜爱燃放烟花爆竹来增加气氛。被点燃的烟花爆竹本身即是火源，稍有不慎，就易引发火灾，还会造成人员伤亡。我国每年春节期间火灾频繁，其中约有70%~80%是由燃放烟花爆竹所引起的。2012年，全国因玩火引发的火灾占到了总数的3.8%。

七、放火

主要指采用人为放火的方式引起的火灾。一般是当事人以放火为手段，而为达到某种目的。这类火灾为当事人故意为之，通常经过一定的策划准备，因而往往缺乏初期救助，火灾发展迅速，后果严重。此外，放火人群中还有一部分是精神病人。2012年，全国因放火引发的火灾占到了总数的2%。

八、雷击

雷电导致的火灾原因，大体上有三种：一是雷电直接击在建筑物上发生的热效应、机械效应作用等；二是雷电产生的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。在雷击较多的地区，建筑物上如果没有设置可靠的防雷保护设施，便有可能发生雷击起火。

第三节 建筑火灾蔓延的机理与途径

通常情况下，火灾都有一个由小到大、由发展到熄灭的过程，其发生、发展直至熄灭的过程在不同的环境下会呈现不同的特点。本节主要介绍建筑火灾蔓延的机理、蔓延途径、火灾发展的几个阶段及。

一、建筑火灾蔓延的机理

建筑物内火灾蔓延，是通过热传播进行的，其形式与起火点、建筑材料、物质的燃烧性能和可燃物的数量等因素有关。在火场上燃烧物质所放出的热能，通常是以传导、辐射和对流三种方式传播，并影响火势蔓延扩大。

(一) 热传导

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。固体、液体和气体物质都有这种传热性能，其中以**固体物质为最强，气体物质最弱**。由于固体物质的性质各异，其传热的性能也各有不同。例如，将一铜棒和一铁棒的一端均放入火中，结果铜棒的另一端比铁棒会更快地被加热，这说明铜比铁有较快的传热速率；如果把两根铁棒的各一端分别放在火里和热水里，结果是放在火里的比放在热水里的铁棒温度高、传热快，这说明同样物质，热源温度高时，传热速率快。

对于起火的场所，热导率大的物体，由于能受到高温迅速加热，又会很快地把热能传导出，在这种情况下，就可能引起没有直接受到火焰作用的可燃物质发生燃烧，利于火势传播和蔓延。

（二）热对流

由于流体之间的宏观位移所产生的运动，叫做对流。通过对流形式来传播热能的，只有气体和液体，分别叫做气体对流和液体对流。

1. 气体对流

气体对流对火势发展变化的影响主要是：流动着的热气流能够加热可燃物质，以致达到燃烧程度，使火势蔓延扩大；被加热的气体在上升和扩散的同时，周围的冷空气迅速流入燃烧区助长燃烧；气体对流方向的改变，促使火势蔓延方向也随着发生变化。气体对流的强度，决定于通风孔洞面积的大小、通风孔洞在房间中的位置（高度）、以及烟雾与周围空气的温度差等条件。气体对流对露天和室内火灾的火势发展变化都是有影响的。即使是室内起火，气体对流对火势发展变化的影响也是较明显的。

室内发生火灾时，燃烧产物和热气流迅速上升，当其遇到顶棚等障碍物时，就会沿着房间上部向各方向平行流动。这时，在房间上部空间形成了烟层，其厚度逐渐增大。如果房间的墙壁上面有门窗孔洞，燃烧产物和热气流就会向邻近的房间室外扩散。但是，也可能有一部分燃烧产物被外界流入的空气带回室内。燃烧产物的浓度越大，温度越高，流动的速度也就越快。

2. 液体对流

液体对流是一部分液体受热以后，因体积增大、相对密度减小而上升，温度较低的部分则由于相对密度较大而下降，就在这种运动的同时进行着热的传播，最后使整个液体被加热。

通过液体对流进行传热，影响火势发展的主要情况是：装在容器中的可燃液体局部受热后，以对流的传热方式使整个液体温度升高，蒸发速度加快，压力增大，以致使容器爆裂，或蒸气逸出，遇着火源而发生燃烧；重质油品燃烧时发生的沸溢或喷溅，同样是由于对流等传热作用所引起的。

（三）热辐射

以电磁波传递热量的现象，叫做热辐射。无论是固体、液体和气体，都能把热量以电磁波（辐射能）的方式辐射出去，也能吸收别的物体辐射出的电磁波而转变成热能。因此，热辐射在热量传递过程中伴有能量形式的转化，即热能-辐射能-热能。电磁波的传递是不需要任何介质的，这是辐射与传导、对流方式传递热量的根本区别。

火场上的火焰、烟雾都能辐射热能，辐射热能的强弱取决于燃烧物质的热值和火焰温度。物质热值越大，火焰温度越高，热辐射也越强。火场上的辐射热随着火灾发展的不同阶段而变化。在火势猛烈发展的阶段，当温度达到最大数值时，辐射热能最强。反之，辐射热能就弱，火势发展则缓慢。辐射热作用于附近的物体上，能否引起可燃物质着火，要看热源的温度、热源的距离和角度。

火场上实际进行的传热过程很少是一种传热方式单独进行，而是由两种或三种方式综合而成，但是必定有一种是主要的。

二、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。图1-2-1为建筑室内火灾温度-时间曲线。

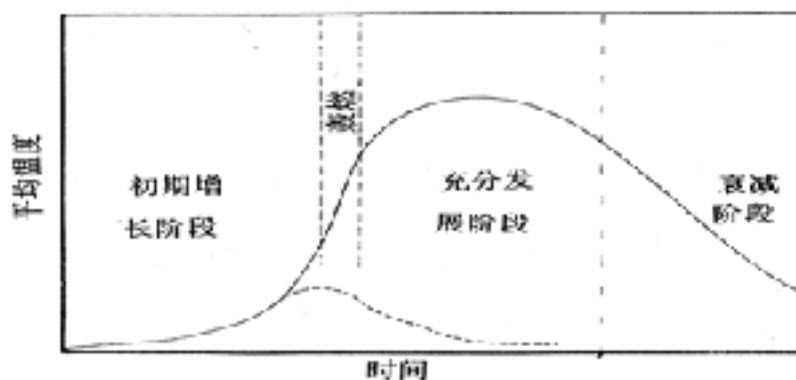


图1-2-1 建筑室内火灾温度-时间曲线

（一）初期增长阶段

室内火灾发生后，最初只局限于着火点处的可燃物燃烧。局部燃烧形成后，可能会出现以下三种情况：一是以最初着火的可燃物燃尽而终止；二是因通风不足，火灾可能自行熄灭，或受到较弱供氧条件的支持，以缓慢的速度维持燃烧；三是有足够的可燃物，且有良好的通风条件，火灾迅速发展至整个房间。

这一阶段着火点处局部温度较高，燃烧的面积不大，室内各点的温度不平衡。由于可燃物性能、分布和通风、散热等条件的影响，燃烧的发展大多比较缓慢，有可能形成火灾，也有可能中途自行熄灭，燃烧发展不稳定。火灾初起阶段持续时间的长短不定。

（二）充分发展阶段

在建筑室内火灾持续燃烧一定时间后，燃烧范围不断扩大，温度升高，室内的可燃物在高温的作用下，不断分解释放出可燃气体，当房间内温度达到 $400 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 时，室内绝大部分可燃物起火燃烧，这种在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累积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全面发展阶段。

轰燃发生后，室内可燃物出现全面燃烧，可燃物热释放速率很大，室温急剧上升，并出现持续高温，温度可达 $800 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 。之后，火焰和高温烟气在火风压的作用下，会从房间的门窗、孔洞等处大量涌出，沿走廊、吊顶迅速向水平方向蔓延扩散。同时，由于烟囱效应的作用，火势会通过竖向管井、共享空间等向上蔓延。

（三）衰减阶段

在火灾全面发展阶段的后期，随着室内可燃物数量的减少，火灾燃烧速度减慢，燃烧强度减弱，温度逐渐下降，当降到其最大值的80%时，火灾则进入熄灭阶段。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。

三、建筑火灾蔓延的途径

在火场上，烟雾流动的方向通常是火势蔓延的一个主要方向。建筑物发生火灾，烟火在建筑内的流动呈现水平流动和垂直流动，且两种流动往往是同时进行的。 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。具体来讲，建筑火灾蔓延的途径主要有：内墙门、洞口，外墙窗口，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。

（一）垂直蔓延

建筑物内发生火灾，由于热对流的存在，火灾烟气往往通过门洞等各种开口、孔洞蔓延，导致灾情扩大。当烟火在走廊内流动时，一旦遇到楼梯间、电梯井、竖向管道、厂房内的设备吊装孔等，则会迅速向上蔓延，且在向上蔓延的同时也向上层水平方向蔓延。

在外墙面，高温热烟气流会促使火焰窜出窗口向上层蔓延。一方面，由于火焰与外墙面之间的空气受热逃逸形成负压，周围冷空气的压力致使烟火贴墙面而上，使火蔓延到上一层；另一方面，由于火焰贴附外墙面向上蔓延，致使热量透过墙体引燃起火层上面一层房间内的可燃物。建筑物外墙窗口的形状、大小对火势蔓延有很大影响，主要表现在：

①窗口高宽比较大时，火焰（或热气流）贴附外墙面向上蔓延的现象不显著；

②窗口高宽比较小时，火焰（或热气流）贴附外墙面的现象明显，使火势很容易向上方蔓延发展；

③同一房间内，在室内外各种因素都相同的情况下，窗口越大，火焰越靠近墙壁，造成火势向上蔓延的可能性就越大。

形成火灾垂直蔓延的主要因素有火风压和烟囱效应。

1.火风压

火风压是建筑物内发生火灾时，在起火房间内，由于温度上升，气体迅速膨胀，对楼板和四壁形成的压力。火风压的影响主要在起火房间，如果火风压大于进风口的压力，则大量的烟火将通过外墙窗口，由室外向上蔓延；若火风压等于或小于进风口的压力，则烟火便全部从内部蔓延，当它进入楼梯间、电梯井、管道井、电缆井等竖向孔道以后，会大大加强烟囱效应。

2.烟囱效应

当建筑物内外的温度不同时，室内外空气的密度随之出现差别，这将引发浮力驱动的流动。如果室内空气温度高于室外，则室内空气将发生向上运动，建筑物越高，这种流动越强。竖井是发生这种现象的主要场合，在竖井中，由于浮力作用产生的气体运动十分显著，通常称这种现象为烟囱效应。在火灾过程中，烟囱效应是造成烟气向上蔓延的主要因素。

烟囱效应和火风压不同，它能影响全楼。多数情况下，建筑物内的温度大于室外温度，所以室内气流总的方向是自下而上，即正烟囱效应。起火层的位置越低，影响的层数越多。在正烟囱效应下，若火灾发生在中性面（室内压力等于室外压力的一个理论分界面）以下的楼层，火灾产生的烟气进入竖井后会沿竖井上升，一旦升到中性面以上，烟气不单可由竖井上部的开口流出来，也可进入建筑物上部与竖井相连的楼层；若中性面以上的楼层起火，当火势较弱时，由烟囱效应产生的空气流动可限制烟气流进竖井，如果着火层的燃烧强烈，热烟气的浮力足以克服竖井内的烟囱效应仍可进入竖井而继续向上蔓延。因此，对高层建筑中的楼梯间、电梯井、管道井、天井、电缆井、排气道、中庭等竖向孔道，如果防火处理不当，就形同一座高耸的烟囱，强大的抽拔力将使火沿着竖向孔道迅速蔓延。

（二）水平蔓延

对主体为耐火结构的建筑来说，造成水平蔓延的主要途径和原因有：未设适当的水平防火分区，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；采用可燃构件与装饰物，火灾通过可燃的隔墙、吊顶、地毯等蔓延。

1.水平蔓延的过程

建筑内起火后，烟火从起火房间的内门窜出，首先进入室内走道，如果与起火房间依次相邻的房间门没有关闭，就会进入这些房间，将室内物品引燃。如果这些房间的门没有开启，则烟火要待房间的门被烧穿以后才能进入。即使在走道和楼梯间没有任何可燃物的情况下，高温热对流仍可从一房间经过走道传到另一房间，从而逐步实现水平方向火势扩大。

2.孔洞开口蔓延

在建筑物内部的一些开口处，是水平蔓延的主要途径，如可燃的木质户门、无水幕保护的普通卷帘，未用不燃材料封堵的管道穿孔处等。此外，发生火灾时，一些防火设施未能正常启动，如防火卷帘因卷帘箱开口、导轨等受热变形，或因卷帘下方堆放物品，或因无人操作手动启动装置等导致无法正常放下，同样造成火灾蔓延。

3.穿越墙壁的管线和缝隙蔓延

室内发生火灾时，室内上半部处于较高压力状态下，该部位穿越墙壁的管线和缝隙很容易把火焰、高温烟气传播出去，造成蔓延。此外，穿过房间的金属管线在火灾高温作用下，往往会通过热传导方式将热量传到相邻房间或区域一侧，使与管线接触的可燃物起火。

4.闷顶内蔓延

由于烟火是向上升腾的，因此吊顶棚上的入孔、通风口等都是烟火进入的通道。闷顶内往往没有防火分隔墙，空间大，很容易造成火灾水平蔓延，并通过内部孔洞再向四周、下方的房间蔓延。

据实验测量，火灾初起时，**烟气在水平方向扩散的速度为0.3m/s，燃烧猛烈时，烟气扩散的速度可达0.5~3.0m/s；烟气顺楼梯间或其它竖向孔道扩散的速度可达3.0~4.0m/s。而人在平地行走的速度约为1.5~2.0m/s，上楼梯时的速度约为0.5m/s，人上楼的速度大大低于烟气的垂直方向流动速度。**因此，当楼房着火时，如果人往楼上跑是有危险的。对着火层以上的被困人员来说，迅速逃生自救尤为重要。

第四节 灭火的基本原理与方法

为防止火势失去控制，继续扩大燃烧而造成灾害，需要采取一定的方式将火扑灭，通常有以下几种方法，这些方法的根本原理是破坏燃烧条件。（4种）

一、冷却

可燃物一旦达到着火点，即会燃烧或持续燃烧。将可燃物的温度降到一定温度以下，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。用水扑灭一般固体物质的火灾，主要是通过冷却作用来实现的，水具有较大的热容量和很高的汽化潜热，冷却性能很好。在用水灭火的过程中，水大量的吸收热量，使燃烧物的温度迅速降低，致使火焰熄灭、火势控制、火灾终止。水喷雾灭火系统（详见第三篇第四章）的水雾，其水滴直径细小，比表面积大，和空气接触范围大，极易吸收热气流的热量，也能很快地降低温度，效果更为明显。

二、隔离

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。如自动喷水泡沫联用系统在喷水的同时，喷出泡沫，泡沫覆盖于燃烧液体或固体的表面，在冷却作用的同时，将可燃物与空气隔开，从而可以灭火。再如，可燃液体或可燃气体火灾，在灭火时，迅速关闭输送可燃液体和可燃气体的管道上的阀门，切断流向着火区的可燃液体和可燃气体的输送，同时也打开可燃液体或可燃气体的管道通向安全区域的阀门，使已经燃烧或即将燃烧或受到火势威胁的容器中的可燃液体、可燃气体转移。

三、窒息

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。在着火场所内，可以通过灌注不燃气体，如二氧化碳、氮气、蒸汽等，来降低空间的氧浓度，从而达到窒息灭火。此外，水喷雾灭火系统实施动作时，喷出的水滴吸收热气流热量而转化成蒸汽，当空气中水蒸汽浓度达到35%时，燃烧即停止，这也是窒息灭火的应用。

四、化学抑制

由于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**干粉和卤代烷**（已淘汰）。化学抑制法灭火，灭火速度快，使用得当可有效地扑灭初

期火灾，减少人员和财产的损失。但抑制法灭火对于有焰燃烧火灾效果好，对深度火灾，由于渗透性较差，灭火效果不理想。在条件许可情况下，采用抑制法灭火的灭火剂与水、泡沫等灭火剂联用，会取得满意效果。

本章思考题

1. 火灾按燃烧对象是如何分类的?
2. 火灾发生的常见原因有哪些?
3. 建筑火灾的蔓延途径有哪些?
4. 灭火的基本方法有哪些?

5. 2007年12月12号上午发生在温州温富大厦的特大火灾造成21人死亡，200多住户受灾。火灾起于一层朵朵鲜花店内，由于大厦二层外墙壁与外围广告牌的距离过近，一层鲜花店起火之后大量的浓烟从这个天然通道直灌2楼，最终导致二层舞厅19人因吸入大量有毒气体丧生。依据所学原理作图分析火灾蔓延的原因及影响因素。

参考文献

- [1]GB/T4968-2008.火灾分类[S].
- [2]现代消防知识问答.上海科学技术出版社.2011.
- [3]中国消防手册（第一卷）.上海科学技术出版社.2010.
- [4]中华人民共和国消防法释义.人民出版社.2009.
- [5]GB5907-86. 消防基本术语（第一部分）[S].

第三章 爆炸基础知识

学习要求

通过本章的学习，应了解爆炸的定义和分类，理解爆炸浓度极限与温度极限的概念与应用，掌握常见爆炸危险源的特征及爆炸形成机理。

爆炸由于破坏力强，危害性大，往往还伴随着火灾及其它灾害的发生，因而需要引起消防工作者的特别重视。本章主要介绍爆炸的基本概念、分类及爆炸极限、爆炸危险源等知识。了解爆炸发生的条件和机理，是理解和应用防火防爆技术的必要理论基础，对于防范爆炸发生、处置爆炸事故尤为重要。

第一节 爆炸的概念及分类

爆炸是物质从一种状态迅速转变成另一状态，并在瞬间放出大量能量，同时产生声响的现象。火灾过程有时会发生爆炸，从而对火势的发展及人员安全产生重大影响，爆炸发生后往往又易引发大面积火灾。

一、爆炸的定义

由于物质急剧氧化或分解反应产生温度、压力增加或两者同时增加的现象，称为爆炸。爆炸是由物理变化和化学变化引起的。在发生爆炸时，势能（化学能或机械能）突然转变为动能，有高压气体生成或者释放出高压气体，这些高压气体随之做机械功，如移动、改变或抛射周围的物体。一旦发生爆炸，将会对邻近的物体产生极大的破坏作用，这是由于构成爆炸体系的高压气体作用到周围物体上，使物体受力不平衡，从而遭到破坏。

二、爆炸的分类

爆炸有着不同的分类，按物质产生爆炸的原因和性质不同，通常将爆炸分为物理爆炸、化学爆炸和核爆炸三种。物理爆炸和化学爆炸最为常见。

（一）物理爆炸

物质因状态或压力发生突变而形成的爆炸叫物理爆炸。物理爆炸的特点是前后物质的化学成分均不改变。如蒸汽锅炉因水快速汽化，容器压力急剧增加，压力超过设备所能承受的强度而发生的爆炸；压缩气体或液化气钢瓶、油桶受热爆炸等。物理爆炸本身虽没有进行燃烧反应，但它产生的冲击力可直接或间接地造成火灾。

（二）化学爆炸

化学爆炸是指由于物质急剧氧化或分解产生温度、压力增加或两者同时增加而形成的爆炸现象。化学爆炸前后，物质的化学成分和性质均发生了根本的变化。这种爆炸速度快，爆炸时产生大量热能和很大的气体压力，并发出巨大的声响。化学爆炸能直接造成火灾，具有很大的火灾危险性。各种炸药的爆炸和气体、液体蒸气及粉尘与空气混合后形成的爆炸都属于化学爆炸，特别是后一种爆炸几乎存在于工业、交通、生活等各个领域，危害性很大，应特别注意。

1. 炸药爆炸

炸药是为了完成可控制爆炸而特别设计制造的物质，其分子中含有不稳定的基团，绝大多数炸药本身含有氧，不需要外界提供氧就能爆炸，但炸药爆炸需要外界点火源引起。其爆炸一旦失去控制，将会造成巨大灾难。

（1）炸药爆炸的特点。炸药爆炸与属于分散体系的气体或粉尘爆炸不同，它属于凝聚体系爆炸。化学反应速度极快，可在万分之一秒甚至更短的时间内完成爆炸，能放出大量的热。爆炸时的反应热达到数千到上万千焦，温度可达数千摄氏度并产生高压，能在瞬间由固体迅速转变为大量的气体产物，使体积成百倍的增加。

（2）炸药爆炸的破坏作用。炸药在空气中爆炸时，对周围介质的破坏作用主要有三部分：一是爆炸产物的直接作用，指高温、高压、高能量密度产物的直接膨胀冲击作用，一般爆炸产物只在爆炸中心的近距离内起作用；二是冲击波的作用，空气冲击波是一种具有巨大能量的超音速压力波，是爆炸时起主要破坏作用的物质，离爆炸中心越近，破坏作用越强；三是外壳破片的分散杀伤作用。

2. 可燃气体爆炸

指物质以气体、蒸气状态所发生的爆炸。气体爆炸由于受体积能量密度的制约，造成大多数气态物质在爆炸时产生的爆炸压力分散在5~10倍于爆炸前的压力范围内，爆炸威力相对较小。按爆炸原理，气体爆炸包括混合气体爆炸、单一分解爆炸两种。

（1）混合气体爆炸。指可燃气体（或液体蒸气）和助燃性气体的混合物在点火源作用下发生的爆炸，较为常见。可燃气体与空气组成的混合气体遇火源能否发生爆炸，与混合气体中的可燃气体浓度有关。可燃气体与空气组成的混合气体遇火源能发生爆炸的浓度范围称为爆炸极限（见本章第二节）。

（2）气体单分解爆炸。指单一气体在一定压力作用下发生分解反应并产生大量反应热，使气态物膨胀而引起的爆炸。气体单分解爆炸的发生需要满足一定的压力和分解热的要求。能使单一气体发生爆炸的最低压力值称为临界压力。单分解爆炸气体物质压力高于临界压力且分解热足够大时，才能维持热与火焰的迅速传播而造成爆炸。某些气体在加压时发生分解反应，产生大量热量，并可能导致自身爆炸，这种爆炸称为气体分解爆炸，如乙炔、乙烯、环氧乙烷、氮氧化物等。

3. 可燃粉尘爆炸

粉尘是指分散的固体物质。粉尘爆炸是指悬浮于空气中的可燃粉尘触及明火或电火花等火源时发生的爆炸现象。可燃粉尘爆炸应具备三个条件，即粉尘本身具有爆炸性、粉尘必须悬浮在空气中并与空气混合到爆炸浓度、有足以引起粉尘爆炸的火源。

(1) 粉尘爆炸的过程。粉尘的爆炸可视为由以下三步发展形成的：第一步是悬浮的粉尘在热源作用下迅速地干馏或气化而产生出可燃气体；第二步是可燃气体与空气混合而燃烧；第三步是粉尘燃烧放出的热量，以热传导和火焰辐射的方式传给附近悬浮的或被吹扬起来的粉尘，这些粉尘受热气化后使燃烧循环地进行下去。随着每个循环的逐次进行，其反应速度逐渐加快，通过剧烈的燃烧，最后形成爆炸。这种爆炸反应以及爆炸火焰速度、爆炸波速度、爆炸压力等将持续加快和升高，并呈跳跃式的发展。

(2) 粉尘爆炸的特点。主要有以下几点：

①连续性爆炸是粉尘爆炸的最大特点，因初始爆炸将沉积粉尘扬起，在新的空间中形成更多的爆炸性混合物而再次爆炸；

②粉尘爆炸所需的最小点火能量（见本章第三节）较高，一般在几十毫焦耳以上，而且热表面点燃较为困难；

③与可燃气体爆炸相比，粉尘爆炸压力上升较缓慢，较高压力持续时间长，释放的能量大，破坏力强。

(3) 影响粉尘爆炸的因素。各类可燃性粉尘因其燃烧热的高低、氧化速度的快慢、带电的难易、含挥发物的多少而具有不同的燃烧爆炸特性。但从总体看，粉尘爆炸受下列条件制约：

①颗粒的尺寸。颗粒越细小其比表面积越大，氧吸附也越多，在空中悬浮时间越长，爆炸危险性越大；

②粉尘浓度。粉尘爆炸与可燃气体、蒸气一样，也有一定的浓度极限，即也存在粉尘爆炸的上、下限，单位用 g/m^3 表示。粉尘的爆炸上限值很大，例如糖粉的爆炸上限为 13500g/m^3 ，如此高的悬浮粉尘浓度只有沉积粉尘受冲击波作用才能形成；

③空气的含水量。空气中含水量越高，粉尘的最小引爆能量越高；

④含氧量。随着含氧量的增加，爆炸浓度极限范围扩大；

⑤可燃气体含量。有粉尘的环境中存在可燃气体时，会大大增加粉尘爆炸的危险性。

(三) 核爆炸

由于原子核裂变或聚变反应，释放出核能所形成的爆炸，称为核爆炸。如原子弹、氢弹、中子弹的爆炸都属核爆炸。

第二节 爆炸极限

爆炸极限一般认为是物质发生爆炸必须具备的浓度或温度范围，根据物质的不同形态和不同需要，通常将爆炸极限分为爆炸浓度极限和爆炸温度极限两种。

一、爆炸浓度极限

可燃气体、液体蒸气和粉尘与空气混合后，遇火源会发生爆炸的最高或最低的浓度范围，称为爆炸浓度极限，简称爆炸极限。能引起爆炸的最高浓度称爆炸上限，能引起爆炸的最低浓度称爆炸下限，上限和下限之间的间隔称爆炸范围。可燃气体、液体蒸气和粉尘与空气混合后形成的混合物遇火源不一定都能发生爆炸，只有其浓度处在爆炸极限范围内，才发生爆炸。浓度高于上限，助燃物数量太少，不会发生爆炸，也不会燃烧；浓度低于下限，可燃物的数量不够，也不会发生爆炸或燃烧。但是，若浓度高于上限的混合物离开密闭的空间或混合物遇到新鲜空气，遇火源则有发生燃烧或爆炸的危险。

(一) 气体和液体的爆炸（浓度）极限

气体和液体的爆炸极限通常用**体积百分比%**表示。不同的物质由于其理化性质不同，其爆炸极限也不同；即使是同一种物质，在不同的外界条件下，其爆炸极限也不同。如在氧气中的爆炸极限要比在空气中的爆炸极限范围宽，下限会降低。部分可燃气体在空气和氧气中的爆炸极限如表1-3-1所示。

表1-3-1 部分可燃气体和蒸气的爆炸极限

物质名称	在空气中 (%)		在氧气中 (%)	
	下限	上限	下限	上限
氢气	4.0	75.0	4.7	94.0
乙炔	2.5	82.0	2.8	93.0
甲烷	5.0	15.0	5.4	60.0
乙烷	3.0	12.45	3.0	66.0
丙烷	2.1	9.5	2.3	55.0
乙烯	2.75	34.0	3.0	80.0
丙烯	2.0	11.0	2.1	53.0
氨	15.0	28.0	13.5	79.0
环丙烷	2.4	10.4	2.5	63.0
一氧化碳	12.5	74.0	15.5	94.0
乙醚	1.9	40.0	2.1	82.0
丁烷	1.5	8.5	1.8	49.0
二乙烯醚	1.7	27.0	1.85	85.5

除助燃物条件外，对于同种可燃气体，其**爆炸极限还受以下几方面影响**。

- (1) **火源能量**的影响。引燃混气的火源能量越大，可燃混气的爆炸极限范围越宽，爆炸危险性越大。
- (2) **初始压力**的影响。混气初始压力增加，爆炸范围增大，爆炸危险性增加。值得注意的是，干燥的一氧化碳和空气的混合气体，压力上升，其爆炸极限范围缩小。
- (3) **初温**对爆炸极限的影响。混气初温越高，混气的爆炸极限范围越宽，爆炸危险性越大。
- (4) **惰性气体**的影响。可燃混气中加入惰性气体，会使爆炸极限范围变宽，一般上限降低，下限变化比较复杂。当加入的惰性气体超过一定量以后，任何比例的混气均不能发送爆炸。

(二) **可燃粉尘的爆炸（浓度）极限**

粉尘的爆炸极限通常用**单位体积中粉尘的质量（g/m³）**表示。可燃粉尘爆炸浓度上限，因为太大，以致在多数场合都不会达到，所以没有实际意义，**通常只应用粉尘的爆炸下限**。表1-3-2列出了部分粉尘的爆炸下限。

表1-3-2 部分粉尘的爆炸特性

物质名称	爆炸下限 (g/m³)	最大爆炸压力 (×105Pa)	自燃点 (°C)	最低点火能量 (mJ)
镁	20	5.0	520	80
铝	35 ~ 40	6.2	645	20
镁铝合金	50	4.3	535	80

钛	45	3.1	460	120
铁	120	2.5	316	100
锌	500	6.9	860	900
煤	35 ~ 45	3.2	610	40
硫	35	2.9	190	15
玉米	45	5.0	470	40
黄豆	35	4.6	560	100
花生壳	85	2.9	570	370
砂糖	19	3.9	410 ~ 525	30
小麦	9.7 ~ 60	4.1 ~ 6.6	380 ~ 470	50 ~ 160
木粉	12.6 ~ 25	7.7	225 ~ 430	20
软木	30 ~ 35	7.0	815	45
纸浆	60	4.2	480	80
酚苯树脂	25	7.4	500	10
脲醛树脂	90	4.2	470	80
环氧树脂	20	6.0	540	15
聚乙烯树脂	30	6.0	410	10
聚丙烯树脂	20	5.3	420	30
聚苯乙烯制品	15	5.4	560	40
聚酯乙烯树脂	40	4.8	550	160
硬脂酸铝	15	4.3	400	15

（三）爆炸混合物浓度与危险性的关系（汽车发动机）

爆炸性混合物在不同浓度时发生爆炸所产生的压力和放出的热量不同，因而具有的危险性也不同。在爆炸下限时，爆炸压力一般不会超过 $4 \times 10^5 \text{Pa}$ ，放出的热量不多，爆炸温度不高。随着爆炸性混合物中可燃气体或液体蒸气浓度的增加，爆炸产生的热量增多，压力增大。当混合物中可燃物质的浓度增加到稍高于化学计量浓度时，可燃物质与空气中的氧发生充分反应，所以爆炸放出的热量最多，产生的压力最大。当混合物中可燃物质浓度超过化学计量浓度时，爆炸放出的热量和爆炸压力随可燃物质浓度的增加而降低。

二、爆炸温度极限

由于液体的蒸气浓度是受温度的变化而变化的，故液体除有爆炸浓度极限外，还有一个爆炸温度极限。爆炸温度极限是指可燃性液体受热蒸发出的蒸气浓度等于爆炸浓度极限时的温度范围。爆炸温度下限是指液体在该温度下蒸发出等于爆炸浓度下限的蒸气浓度。液体的爆炸温度下限就是该液体的闪点。爆炸温度上限是指液体在该温度下蒸发出等于爆炸浓度上限的蒸气浓度。

爆炸温度上、下限值之间的范围越大，爆炸危险性就越大。例如，乙醇的爆炸温度下限是 11°C ，上限是 40°C 。在 $11^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 温度范围之内，乙醇蒸气与空气的混合物都有爆炸危险；乙醚的爆炸温度极限是 $-45^\circ\text{C} \sim 13^\circ\text{C}$ ，显然乙醚比乙醇的爆炸危险性大。表1-3-3为几种常见液体爆炸浓度极限与爆炸温度极限的比较。

表1-3-3 常见液体爆炸浓度极限与爆炸温度极限的比较

液体名称	爆炸浓度极限 (%)		爆炸温度极限 (°C)	
	下限	上限	下限	上限
乙醇	3.3	18.0	11.0	40.0
甲苯	1.5	7.0	5.5	31.0
松节油	0.8	62.0	33.5	53.0
车用汽油	1.7	7.2	-38.0	-8.0
灯用煤油	1.4	7.5	40.0	86.0
乙醚	1.9	40.0	-45.0	13.0
苯	1.5	9.5	-14.0	19.0

三、爆炸极限在消防上的应用

物质的爆炸极限是正确评价生产、储存过程的火灾危险程度的主要参数，是建筑、电气和其他防火安全技术的重要依据。控制可燃性物质在空间的浓度低于爆炸下限或高于爆炸上限，是保证安全生产、储存、运输、使用的基本措施之一。

具体应用有以下几方面：

- ①爆炸极限是评定可燃气体火灾危险性大小的依据，爆炸范围越大，下限越低，火灾危险性就越大；
- ②爆炸极限是评定气体生产、储存场所火险类别的依据，也是选择电气防爆型式的依据：生产、储存爆炸下限<10%的可燃气体的工业场所，应选用隔爆型防爆电气设备；生产、储存爆炸下限≥10%的可燃气体的工业场所，可选用任一防爆型电气设备；
- ③根据爆炸极限可以确定建筑物耐火等级、层数、面积、防火墙占地面积、安全疏散距离和灭火设施；
- ④根据爆炸极限，确定安全操作规程，例如，采用可燃气体或蒸气氧化法生产时，应使可燃气体或蒸气与氧化剂的配比处于爆炸极限范围以外，若处于或接近爆炸极限范围进行生产时，应充惰性气体稀释和保护。

第三节 爆炸危险源

发生爆炸必须具备两个基本要素，一是爆炸介质，二是引爆能源，两者缺一不可。在生产中，爆炸危险源可从潜在的爆炸危险性、存在条件及触发因素等几方面来确定，具体包括能量与危险物质、物的不安全状态、人的不安全行为以及管理缺陷等。

一、引起爆炸的直接原因

通常，引起爆炸事故的直接原因可归纳为以下几方面。4

(一) 物料原因

生产中使用的原料、中间体和产品大多是有火灾、爆炸危险性的可燃物。由于工作场所过量堆放物品，对易燃易爆危险品没有安全防护措施，产品下机后不待冷却便入库堆积，不按规定掌握投料数量、投料比、投料先后顺序，控制失误或设备造成故障造成物料外溢，生产粉尘或可燃气体达到爆炸极限等原因，均会酿成爆炸事故。

(二) 作业行为原因

作业行为导致爆炸的原因有：违反操作规程、违章作业、随意改变操作控制条件；生产和生活用火不慎，乱用炉火、灯火、乱丢未熄灭的柴杆、烟蒂；判断失误、操作不当，对生产出现超温、超压等异常现象束手无策；不按科学态度指挥生产、盲目施工、超负荷运转等。

（三）生产设备原因

由于设备缺陷导致生产火灾的原因有：选材不当或材料质量有问题，而致设备存在先天性缺陷；由于结构设计不合理，零部件选配不当，而致设备不能满足工艺操作的要求；由于腐蚀、超温、超压等而致出现破损、失灵、机械强度下降、运转摩擦部件过热等。

（四）生产工艺原因

生产工艺原因主要表现为物料的加热方式方法不当，致使可燃物料；对工艺性火花控制不力而致形成点火源；对化学反应型工艺控制不当，致使反应失控；对工艺参数的控制失灵，而致出现超温、超压现象。

此外，还因为人的故意破坏，如放火、停水停电、毁坏设备及地震、台风、雷击等自然灾害也同样可能会引发爆炸。

二、常见爆炸点火源

根据前文所述，点火源是发生爆炸的必要条件之一，常见引起爆炸的点火源主要有机械火源、热火源、电火源及化学火源，见表1-3-4。

表1-3-4 常见引发爆炸的点火源 4 机电化热

火源类别	火源举例
机械火源	撞击、摩擦
热火源	高温热表面、日光照射并聚焦
电火源	电火花、静电火花、雷电
化学火源	明火、化学反应热、发热自燃

（一）机械火源

撞击、摩擦产生火花，如机器上转动部分的摩擦，铁器的互相撞击或铁制工具打击混凝土地面，带压管道或铁制容器的开裂等，都可能产生高温或火花，成为爆炸的起因。

（二）热火源

（1）**高温表面**。生产工艺的加热装置，高温物料的传送管线、高压蒸汽管线及高温反应塔、器等设备表面温度都比较高，可燃物料与这些高温表面接触时间过长，就有可能引发爆炸事故。

（2）**日光照射**。直射的太阳光，通过凸透镜、凹面镜、圆形玻璃瓶、有气泡的平板玻璃等，会聚焦形成高温焦点，可能点燃可燃性物质。

（三）电火源

（1）电火花。电气方面形成的火源，一般指电气开关合闸、断开时产生的火花电弧，或由于电气设备短路、过载、接触不良或其它原因产生的电火花、电弧或危险温度。

（2）静电火花。静电指的是相对静止的电荷，是一种常见的带电现象。在一定条件下两种不同物质（其中至少有一种为电介质）相互接触、摩擦，就可能产生静电并积聚起来产生高电压。若静电能量以火花形式发出，则可能成为火源，引起爆炸事故。物质能否产生静电并积聚起来，**主要取决于物质的电阻率和相对介电常数**。在工业生产过程中，撕裂、剥

离、拉伸、撞击、粉碎、筛分、滚压、搅拌、输送、喷涂和过滤物料，还有气、液体的流动、溅泼、喷射等各种操作，都可能产生静电。

(3) 雷电。雷电所产生的火花温度之高可熔化金属，也是引起爆炸事故的祸根之一。

(四) 明火

生产过程中的明火主要是指加热用火、维修用火以及其它火源。此外，烟头、火柴、烟囱飞火、机动车辆排气管喷火都可能引起可燃物料的燃爆。

三、最小点火能量

所谓最小点火能量，是指每一种气体爆炸混合物，都有起爆的最小点火能量，低于该能量，混合物就不爆炸，目前都采用mJ作为最小点火能量的单位。表1-3-5中列出部分可燃气体和蒸气在空气中的最小点火能量。

表1-3-5 部分可燃气体和蒸气在空气中的最小点火能量

物质名称	最小点火能量 (mJ)	物质名称	最小点火能量 (mJ)
乙烷	0.285	丁酮	0.68
丙烷	0.305	丙酮	1.15
甲烷	0.47	乙酸乙酯	1.42
庚烷	0.70	甲醚	0.33
乙炔	0.02	乙醚	0.49
乙烯	0.096	异丙醚	1.14
丙炔	0.152	三乙胺	0.75
丙烯	0.282	乙胺	2.4
丁二烯	0.175	呋喃	0.225
氯丙烷	1.08	苯	0.55
甲醇	0.215	环氧乙烷	0.087
异丙醇	0.65	二硫化碳	0.015
乙醛	0.325	氢	0.02

本章思考题

1. 爆炸有几种类型?
2. 爆炸浓度极限的概念是什么? 其在消防中的意义主要有哪些?
3. 粉尘爆炸的条件有哪些?
4. 什么是最小点火能量?
5. 常见爆炸点火源有哪些?
6. 引发爆炸的常见原因有哪些?

参考文献

[1]消防燃烧学.中国人民公安大学出版社.1997.

[2]中国消防手册（第一卷）.上海科学技术出版社.2010.

[3]中国消防手册（第三卷）.上海科学技术出版社.2007.

[4]灭火救援员.中国科学技术出版社.2013.

第四章 易燃易爆危险品消防安全知识

学习要求

通过本章的学习,应了解易燃易爆危险品的概念及分类,了解易燃气体、易燃液体、易燃固体、易于自燃的物质和遇水放出易燃气体的物质、氧化性物质和有机过氧化物等几类易燃易爆危险品的火灾危险特性。

危险品系指有爆炸、易燃、毒害、腐蚀、放射性等性质,在运输、装卸和储存保管过程中,易造成人身伤亡和财产损毁而需要特别防护的物品。目前常见的、用途较广的危险物品有2020余种。

容易燃烧爆炸的危险品即为易燃易爆危险品。具体指国家标准《危险货物分类和品名编号》(GB6944)和《危险货物物品名表》(GB12268)中的爆炸品、易燃气体、易燃液体、易燃固体、易于自燃的物质和遇水放出易燃气体的物质、氧化性物质和有机过氧化物。这些物品不论是作为原料还是作为产品,一般都要经过加工、储存、运输等方式的输转,才能供给使用。从最初生产者到最终使用者的整个过程中,物品受到摩擦、震动、挤压、温湿度变化、混触等诸多因素影响最大,因而造成燃烧、爆炸和伤亡等事故的隐患也最多。为了加强对危险物品的安全管理,确保生命、财产安全,对危险物品进行科学的分类,特别是研究各类易燃易爆危险物品的危险特性是十分重要的。

第一节 爆炸品

爆炸品系指在外界作用下(如受热、撞击等),能发生剧烈的化学反应,瞬时产生大量气体和热量,导致周围压力急剧上升,发生爆炸,从而对周围环境造成破坏的物品。

一、爆炸品的分类 5

爆炸品实际上是火药、炸药和爆炸性药品及其制品的总称。爆炸品按其爆炸危险性的的大小分为以下五项:

(1) 具有**整体爆炸危险**的物质和物品(整体爆炸,是指瞬间影响到几乎全部装入量的爆炸)。如:爆破用的电雷管、非电雷管、弹药用雷管、叠氮铅、雷汞等起爆药,梯恩梯、硝铵炸药、浆状炸药、无烟火药、硝化棉、硝化淀粉、硝化甘油、黑火药及其制品等均属此项。

(2) 具有**抛射危险**,但无整体爆炸危险的物质和物品。如:带有炸药或抛射药的火箭、火箭弹头、装有炸药的炸弹、弹丸、穿甲弹、非水活化的带有或不带有爆炸管、抛射药或发射药的照明弹、燃烧弹、烟幕弹、催泪弹、以及摄影闪光弹、闪光粉、地面或空中照明弹、不带雷管的民用炸药装药、民用火箭等均属此项。

(3) 具有着火危险和较小爆炸或较小抛射危险或**两者兼有**,但**无整体爆炸危险**的物质和物品。如:速燃导火索、点火管、点火引信,二硝基苯、苦味酸钠、苦味酸锆、含乙醇 $\geq 25\%$ 或增塑剂 $\geq 18\%$ 的硝化纤维素、油井药包、礼花弹等均属此项。

(4) **无重大危险的爆炸物质和物品**。该项爆炸品的危险性较小,万一被点燃或引爆,其危险作用大部分局限在包装件内部,而对包装件外部无重大危险。如:导火索、手持信号弹、响墩、爆炸钹灯、火炬信号、烟花爆竹、鞭炮等均属此项。

(5) **非常不敏感的爆炸物质**。该项爆炸品性质比较稳定,在燃烧实验中不会爆炸。如:铵油炸药,铵沥蜡炸药等。

二、爆炸品的火灾危险性 3

主要表现为其受到**摩擦、撞击、震动、高热或其它能量激** 5 发后,就能产生剧烈的化学反应,并在极短时间内释放大热量和气体而发生爆炸性燃烧。其主要危险性是:

(1) **爆炸性**。爆炸物品都具有化学不稳定性，在一定的作用下，能以极快的速度发生猛烈的化学反应，产生的大量气体和热量在短时间内无法逸散开去，致使周围的温度迅速上升和产生巨大的压力而引起爆炸。

(2) **敏感度**。任何一种爆炸品的爆炸都需要外界供给它一定的能量——起爆能。不同的炸药所需的起爆能也不同。某一炸药所需的最小起爆能，即为该炸药的敏感度。不同形式的炸药对不同形式的外界作用，其敏感度是不同的。影响爆炸品敏感度的因素很多，而爆炸品的化学组成和结构是决定敏感度的内在因素。另外，影响炸药敏感度的外来因素还由温度、杂质、结晶、密度等。

(3) **殉爆**。殉爆是指炸药主爆药爆炸后，能够引起与其相距一定距离的炸药从爆炸药爆炸，这种现象叫做炸药的殉爆。

第二节 易燃气体

易燃气体是指温度在20℃、标准大气压101.3kPa时，爆炸下限≤13%（体积），或燃烧范围不小于12个百分点（爆炸浓度极限的上、下限之差）的气体。如氢气、乙炔气、一氧化碳、甲烷等碳五以下的烷烃、烯烃，无水的一甲胺、二甲胺、三甲胺，环丙烷、环丁烷、环氧乙烷，四氢化硅、液化石油气等。

一、易燃气体的分级

易燃气体分为二级。

I级：爆炸下限 < 10%；或不论爆炸下限如何，爆炸极限范围≥12个百分点；

II级：10%≤爆炸下限 < 13%，且爆炸极限范围 < 12个百分点。

二、易燃气体的火灾危险性 5

(一) 易燃易爆性

易燃气体的主要危险性是易燃易爆性，所有处于燃烧浓度范围内的易燃气体，遇火源都可能发生着火或爆炸，有的易燃气体遇到极微小能量着火源的作用即可引爆。易燃气体着火或爆炸的难易程度，除受着火源能量大小的影响外，主要取决于其化学组成，而其化学组成又决定着气体燃烧浓度范围的大小、自燃点的高低、燃烧速度的快慢和发热量的多少。综合易燃气体的燃烧现象，其易燃易爆性具有以下3个特点：

①比液体、固体易燃，且燃速快，一燃即尽。这是因为一般气体分子间引力小,容易断键，**无需熔化分解过程**,也无需用以熔化、分解所消耗的热量；

②一般来说,由简单成分组成的气体，如氢气（H2）比甲烷（CH4）、一氧化碳（CO）等，比复杂成分组成的气体易燃，燃速快，火焰温度高，着火爆炸危险性大，这是因为**单一成分的气体**不需受热分解的过程和分解所消耗的热量。简单成分气体和复杂成分气体的火灾危险性比较如表1-4-1所示；

表1-4-1 简单成分气体和复杂成分气体火灾危险性比较

气体名称	化学组成	最大直线燃烧速度(cm/s)	最高火焰温度(℃)	爆炸浓度范围体积(%)
氢气	H2	210	2130	4 ~ 75
一氧化碳	CO	39	1680	12.5 ~ 74
甲烷	CH4	33.8	1800	5 ~ 15

③**价键不饱和**的易燃气体比相对应价键饱和的易燃气体的火灾危险性大。这是因为不饱和气体的分子结构中有双键或叁键存在，化学活性强，在通常条件下，即能与氯、氧等氧化性气体起反应而发生着火或爆炸，所以火灾危险性大。

(二) **扩散性**

处于气体状态的任何物质都没有固定的形状和体积，且能自发地充满任何容器。由于气体的分子间距大，相互作用力小，所以非常容易扩散。气体的扩散特点主要体现在以下几方面：

①**比空气轻**的气体逸散在空气中可以无限制地扩散与空气形成爆炸性混合物，并能够顺风飘荡，迅速蔓延和扩展；

②**比空气重**的气体泄漏出来时，往往飘浮于地表、沟渠、隧道、厂房死角等处，长时间聚集不散，易与空气在局部形成爆炸性混合气体，遇着火源发生着火或爆炸；同时，密度大的易燃气体一般都有较大的发热量，在火灾条件下，易于造成火势扩大。掌握气体的相对密度及其扩散性，不仅对评价其火灾危险性的大小，而且对选择通风门的位置、确定防火间距以及采取防止火势蔓延的措施都具有实际意义。常见可燃气体的相对密度与扩散系数的关系如表1-5-2所示。

表1-5-2 常见可燃气体的相对密度与扩散系数的关系

气体名称	扩散系数(c m ² /s)	相对密度	气体名称	扩散系数(c m ² /s)	相对密度
氢	0.634	0.07	乙烯	0.130	0.97
乙炔	0.194	0.91	甲醚	0.118	1.58
甲烷	0.196	0.55	液化石油气	0.121	1.56
氨	0.198	0.5962			

(三) **可缩性和膨胀性**

任何物体都有热胀冷缩的性质，气体也不例外，其体积也会因温度的升降而胀缩，且胀缩的幅度比液体要大得多。气体的可缩性和膨胀性特点如下：

①当压力不变时，气体的温度与体积成正比，即温度越高，体积越大。通常气体的相对密度随温度的升高而减小，体积却随温度的升高而增大；

②当温度不变时，气体的体积与压力成反比，即压力越大，体积越小。如对100L、质量一定的气体加压至1013.25kPa时，其体积可以缩小到10L。这一特性说明，气体在一定压力下可以压缩，甚至可以压缩成液态。所以，气体通常都是经压缩后存于钢瓶中的；

③在体积不变时，气体的温度与压力成正比，即温度越高，压力越大。这就是说，当储存在固定容积容器内的气体被加热时，温度越高，其膨胀后形成的压力就越大。如果盛装压缩或液化气体的容器（钢瓶）在储运过程中受到高温、暴晒等热源作用时，容器、钢瓶内的气体就会急剧膨胀，产生比原来更大的压力。当压力超过了容器的耐压强度时，就会引起容器的膨胀，甚至爆裂，造成伤亡事故。因此，在储存、运输和使用压缩气体和液化气体的过程中，一定要注意防火、防晒、隔热等措施；在向容器、气瓶内充装时，要注意极限温度和压力，严格控制充装量，防止超装、超温、超压。表1-5-3列出了各组分液化石油气在不同温度下的饱和蒸气压，可从中看出温度的影响程度。

表1-5-3 各组分液化石油气在不同温度下的饱和蒸气压 单位：Mpa

气体组分 温度/°C	丙烷	丙烯	正丁烷	异丁烷	正丁烯	异丁烯	25%丁烷 75%丙烷	50%丁烷 50%丙烷	75%丁烷 25%丙烷
-50	0.08	0.09	0.010	0.017	0.009		0.062	0.045	0.027
-40	0.12	0.14	0.18	0.027	0.017		0.094	0.069	0.043

-30	0.18	0.20	0.028	0.044	0.027	0.044	0.142	0.104	0.066
-20	0.27	0.30	0.045	0.069	0.041	0.069	0.213	0.157	0.101
-10	0.37	0.41	0.068	0.102	0.064	0.102	0.295	0.219	0.143
0	0.47	0.59	0.103	0.106	0.130	0.160	0.384	0.288	0.192
10	0.64	0.76	0.150	0.230	0.140	0.230	0.517	0.395	0.272
20	0.80	0.98	0.200	0.295	0.250	0.320	0.690	0.530	0.370
30	1.10	1.33	0.290	0.420	0.270	0.420	0.900	0.695	0.492
40	1.43	1.70	0.390	0.550	0.360		0.170	0.910	0.650
50	1.80	2.10	0.510	0.710	0.480	0.710	1.475	1.155	0.832

(四) 带电性

从静电产生的原理可知，任何物体的摩擦都会产生静电，氢气、乙烯、乙炔、天然气、液化石油气等从管口或破损处高速喷出时也同样能产生静电。其主要原因是气体本身剧烈运动造成分子间的相互摩擦，气体中含有固体颗粒或液体杂质在压力下高速喷出时与喷嘴产生的摩擦等。影响压气体静电电荷产生的主要因素有：

- (1) 杂质。气体中所含的液体或固体杂质越多，多数情况下产生的静电荷也越多。
- (2) 流速。气体的流速越快，产生的静电荷也越多。

据实验，液化石油气喷出时，产生的静电电压可达9000V，其放电火花足以引起燃烧。因此，压力容器内的可燃气体，在容器、管道破损时或放空速度过快时，都易因静电引起着火或爆炸事故。带电性是评定可燃气体火灾危险性的参数之一，掌握了可燃气体的带电性，可采取设备接地、控制流速等相应的防范措施。

(五) 腐蚀性、毒害性

1. 腐蚀性

这里所说的腐蚀性主要是指一些含氢²、硫元素的气体具有腐蚀性。如硫化氢、硫氧化碳、氨、氢等，都能腐蚀设备，削弱设备的耐压强度，严重时可导致设备系统裂隙、漏气，引起火灾等事故。目前危险性最大的是氢，氢在高压下能渗透到碳素中去，使金属容器发生“氢脆”。因此，对盛装这类气体的容器，要采取一定的防腐措施。如用高压合金钢并含铬、钼等一定量的稀有金属制造材料，定期检验其耐压强度等。

2. 毒害性

一氧化碳、硫化氢、二甲胺、氨、溴甲烷、二硼烷、二氯硅烷、锆烷、三氟氯乙烯等气体，除具有易燃易爆性外，还有相当的毒害性，因此，在处理或扑救此类有毒气体火灾时，应特别注意防止中毒。

第三节 易燃液体

易燃液体是指闭杯试验闪点 $< 61^{\circ}\text{C}$ 的液体、液体混合物或含有固体混合物的液体，但不包括由于存在其它危险已列入其它类别管理的液体。闭杯闪点指在标准规定的试验条件下，在闭杯中试样的蒸气与空气的混合气接触火焰时，能产生闪燃的最低温度。

一、易燃液体的分类

易燃液体分为三级。

- (1) I级。闪点 $< -18^{\circ}\text{C}$ ，如汽油、正戊烷、环戊烷、环戊烯、乙醛、丙酮、乙醚、甲胺水溶液、二硫化碳等。
- (2) II类。 $-18^{\circ}\text{C} \leq \text{闪点} < 23^{\circ}\text{C}$ ，如石油醚、石油原油、石脑油、正庚烷及其异构体、辛烷及其异辛烷、苯、粗苯、甲醇、乙醇、噻吩、吡啶、香蕉水、显影液、镜头水、封口胶等。

(3) **III类**。 **$23^{\circ}\text{C}\leq\text{闪点}<61^{\circ}\text{C}$** ，如煤油、磺化煤油、浸在煤油中的金属钶、铈、钪、壬烷及其异构体、癸烷、樟脑油、乳香油、松节油、松香水、癣药水、刹车油、影印油墨、照相用清除液、涂底液、医用碘酒等。

二、易燃液体的火灾危险性 6

(一) 易燃性

液体的燃烧是通过其挥发出来的蒸气与空气形成的可燃性混合物，在一定的比例范围内遇明火源点燃而实现的，因而实质上是液体蒸气与氧化合的剧烈反应。易燃液体燃烧的难易程度，即火灾危险的大小，主要取决于它们分子结构和分子量的大小。

(二) 爆炸性

由于任何液体在任一温度下都能蒸发。所以，易燃液体也具有这种性质，当挥发出来的易燃蒸气与空气混合，达到爆炸浓度范围时，遇明火就发生爆炸。易燃液体的挥发性越强，这种爆炸危险就越大。不同液体的蒸发速度随其所处状态的不同而变化，影响其蒸发速度的因素有温度、沸点、暴露面、比重、压力、流速等。

(三) 受热膨胀性

易燃液体也有受热膨胀性，储存于密闭容器中的易燃液体受热后，本身体积膨胀的同时蒸气压力增加。若超过了容器所能承受的压力限度，就会造成容器膨胀，以至爆裂。夏季盛装易燃液体的桶，常出现鼓桶现象以及玻璃容器发生爆裂，就是由于受热膨胀所致。

(四) 流动性

流动性是液体的通性，易燃液体的流动性增加了火灾危险性。如易燃液体渗漏会很快向四周扩散，能扩大其表面积，加快挥发速度，提高空气中的蒸气浓度，易于起火蔓延。如在火场上储罐（容器）一旦爆裂，液体会四处流散，造成火势蔓延，扩大着火面积，给施救工作带来一定困难。所以，为了防止液体泄漏、流散，在储存时应备事故槽（罐），构筑防火堤，设水封井等。液体着火时，应设法堵截流散的液体，防止其蔓延扩散。

(五) 带电性

多数易燃液体在灌注、输送、喷流过程中能够产生静电，当静电荷聚集到一定程度，则放电发火，有引起着火或爆炸的危险。

(六) 毒害性

易燃液体大都本身或其蒸气具有毒害性，有的还有刺激性和腐蚀性。易燃液体蒸发气体，通过人体的呼吸道、消化道、皮肤三个途径进入人体内，造成人身中毒。中毒的程度与蒸气浓度、作用时间的长短有关。浓度低、时间短则中毒程度轻，反之则重。

第四节 易燃固体、易于自燃的物质、遇水放出易燃气体的物质

在易燃易爆危险品这一类物质中包含易燃固体、易于自燃的物质、遇水放出易燃气体的物质三项。其中易燃固体主要指易被各类火源点燃的固态物质，易于自燃物质主要是指与空气接触容易自行燃烧的物质，遇水放出易燃气体的物质主要是当遇水时会放出易燃气体和热量的物品。

一、易燃固体

易燃固体是指燃点低，对热、撞击、摩擦敏感，易被外部火源点燃，燃烧迅速，并可能散发出有毒烟雾或有毒气体的固体。但不包括已列入爆炸品的物质。

(一) 易燃固体的分类与分级

根据燃点的高低，燃烧物质可分为易燃固体和可燃固体，燃点高于300℃的称为**可燃固体**，如农副产品及其制品（也称易燃货物）。燃点**低于300℃**的为**易燃固体**，如大部分化工原料及其制品，但合成橡胶、合成树脂、合成纤维属可燃固体。为了不同的需要，易燃固体按其燃点的高低、燃烧速度的快慢、放出气体的毒害性的大小通常还分成二级，见表1-5-4。

表1-5-4 易燃固体的分级分类

级 别	分 类		举 例
一级 (甲)	燃点低、易燃烧、燃烧迅速和猛烈，并放出有毒气体	(1) 赤磷及含磷化合物	赤磷、三硫基萘、硝化棉等
		(2) 硝基化合物	二硝基甲苯、二硝基萘、硝化棉等
		(3) 其他	闪光粉、氨基化钠、重氮氨基苯等
二级 (乙)	燃点较高、燃烧较慢、燃烧产物毒性也较小	(1) 硝基化合物	硝基芳烃、二硝基丙烷等
		(2) 易燃金属粉	铝粉、镁粉、锰粉等
		(3) 萘及其衍生物	萘、甲基萘等
		(4) 碱金属氨基化合物	氨基化钠、氨基化钙
		(5) 硝化棉制品	硝化纤维漆布、赛璐珞板等
		(6) 其他	硫磺、生松香、聚甲醛等

注：燃点在300℃以下的天然纤维（如棉、麻纸张、谷草等）列属丙类易燃固体。

(二) 易燃固体包括的范围

1.湿爆炸品

指用充分的水或酒精，或增塑剂以抑制爆炸性能的爆炸品。如按重量含水至少10%的苦味酸铵、二硝基苯酚盐、硝化淀粉等均属湿爆炸品。

2.自反应物质

指在常温或高温下由于储存或运输温度太高，或混入杂质能引起激烈的热分解，一旦着火无须掺入空气就可发生反应的物质。在无火焰分解情况下，某些可能散发毒性蒸气或其它气体。这些物质主要包括脂肪族偶氮化合物、芳香族硫代酰肼化合物、亚硝基类化合物和重氮盐类化合物等固体物质。

3.极易燃烧的固体和通过摩擦可能起火或促进起火的固体

这类物质主要包括湿发火粉末（用充分的水湿透，以抑制其发火性能的钛粉、锆粉等），铈、铁合金（打火机用的火石），五硫化二磷等硫化物，有机升华的固体（如冰片、萘、樟脑等），火柴、点火剂等。

(三) 易燃固体的火灾危险性

1.燃点低、易点燃

易燃固体的着火点一般都在300℃以下，在常温下只要有能量很小的着火源与之作用即能引起燃烧。如镁粉、铝粉只要有20mJ的点火能即可点燃；硫磺、生松香则只需15mJ的点火能即可点燃；有些易燃固体受到摩擦、撞击等外力作用时也可能引发燃烧。

2.遇酸、氧化剂易燃易爆

绝大多数易燃固体与酸、氧化剂（尤其是强氧化剂）接触，能够立即引起着火或爆炸。如发孔剂与酸性物质接触能立即起火；萘与发烟硫酸接触反应非常剧烈，甚至引起爆炸；红磷与氯酸钾、硫磺与过氧化钠或氯酸钾相遇，都会立即引起着火或爆炸。

3. 本身或燃烧产物有毒

很多易燃固体本身具有毒害性，或燃烧后能产生有毒的物质。如硫磺、三硫化四磷等，不仅与皮肤接触（特别夏季有汗的情况下）能引起中毒，而且粉尘吸入后，亦能引起中毒。又如硝基化合物、硝基棉及其制品，重氮氨基苯等易燃固体，由于本身含有硝基（ $-\text{NO}_2$ ）、亚硝基（ $-\text{NO}$ ）、重氮基（ $-\text{N}=\text{N}-$ ）等不稳定的基团，在燃烧的条件下，都有可能转为爆炸，燃烧时还会产生大量的一氧化碳、氰化氢等有毒气体。

二、易于自燃的物质

按照《易燃易爆危险品火灾危险性分级及试验方法》（GA/T536.1），易于自燃的物质划分为三个级别：

- （1）I级。发火物质。
- （2）II级。指采用边长25mm立方体试验样品试验时，在24h内出现自燃，或试验样品温度超过200℃。
- （3）III级。指采用边长100mm立方体试验样品试验时，在24h内出现自燃，或试验样品温度超过200℃。

（一）易于自燃的物质包括的范围

易于自燃的物质包括发火物质和自热物质两类：

（1）发火物质。指即使只有少量物品与空气接触，在不到5min内便会燃烧的物质，包括混合物和溶液（液体和固体）。如黄磷、三氯化钛等。

（2）自热物质。指发火物质以外的与空气接触不需要能源供应便能自己发热的物质。如赛璐珞碎屑，油纸，动植物油，潮湿的棉花等。

（二）易于自燃的物质的火灾危险特性

（1）遇空气自燃性。自燃物质大部分非常活泼，具有极强的还原性，接触空气后能迅速与空气中的氧化合，并产生大量的热，达到其自燃点而着火，接触氧化剂和其它氧化性物质反应更加强烈，甚至爆炸，如黄磷遇空气即自燃起火，生成有毒的五氧化二磷。故须存放于水中。

（2）遇湿易燃火灾危险性。硼、锌、镭、铝的烷基化合物类自燃物品，化学性质非常活泼，具有极强的还原性，遇氧化剂、酸类反应剧烈，除在空气中能自燃外，遇水或受潮还能分解自燃或爆炸。故起火时不可用水或泡沫扑救。

（3）积热自燃性。硝化纤维胶片、废影片、X光片等，在常温下就能缓慢分解，产生的热量，自动升温，达到其自燃点而引起自燃。（光敏等特性）

三、遇水放出易燃气体的物质

遇水放出易燃气体的物质系指遇水或受潮时，发生剧烈化学反应，放出大量易燃气体和热量的物品。这类物质还能与酸或氧化剂发生反应，而且比遇水发生的反应更加剧烈，其着火爆炸的危险性更大。

（一）遇水放出易燃气体的物质的分级和标准

根据遇水后发生反应的剧烈程度和危险性大小，分为三级：

- （1）I级：遇水反应产生的气体出现自燃现象，或遇水反应，释放易燃气体的最大速率 $\geq 10\text{L}(\text{kg}\cdot\text{min})$ 。
- （2）II级：遇水反应，释放易燃气体的最大速率 $\geq 20\text{L}(\text{kg}\cdot\text{h})$ ，并且不满足I级遇水放出易燃气体物质的条件。
- （2）III级：遇水反应，释放易燃气体的最大速率 $\geq 1\text{L}(\text{kg}\cdot\text{h})$ ，并且不满足I级和II级遇水放出易燃气体物质的条件。

（二）遇水放出易燃气体的物质的火灾危险性

这类物质都具有遇水分解，产生可燃气体和热量，能引起火灾的危险性或爆炸性。引起着火有两种情况，一是遇水发生剧烈的化学反应，释放出的热量能把反应产生的可燃气体加热到自燃点，不经点火也会着火燃烧，如金属钠、碳化钙等；另一种是遇水能发生化学反应，但释放出的热量较少，不足以把反应产生的可燃气体加热至自燃点，但当可燃气体一旦接触火源也会立即着火燃烧，如氢化钙、保险粉等。遇水放出易燃气体的物质类别多，生成的可燃气体不同，因此其危险性也有所不同。火灾危险性主要有以下几方面：

（1）遇水或遇酸燃烧性。这是此类物质的共同危险性，着火时，不能用水及泡沫灭火剂扑救，应用干砂、干粉灭火剂、二氧化碳灭火剂等进行扑救。

（2）自燃性。有些遇水放出易燃气体物质如碱金属、硼氢化合物，放置于空气中即具有自燃性，有的（如氢化钾）遇水能生成可燃气体放出热量而具有自燃性。因此，这类物质的贮存必须与水及潮气隔离。

（3）爆炸性。一些遇水放出易燃气体物质，如电石等，由于和水作用生成可燃气体与空气形成爆炸性混合物。

（4）其他。有些物质遇水作用的生成物（如磷化物）除易燃性外，还有毒性；有的虽然与水接触，反应不很激烈，放出热量不足以使产生的可燃气体着火，但是遇外来火源还是有着火爆炸的危险性。

第五节 氧化性物质和有机过氧化物

本类物品具有强烈的氧化性，在不同条件下，遇酸、碱、受热、受潮或接触有机物、还原剂即能分解放出氧，发生氧化还原反应，引起燃烧，有机过氧化物更具有易燃甚至爆炸的危险性，储运时须加适量抑制剂或稳定剂，有的在环境温度下会自行加速分解，因而必须控温储运。有些氧化性物质还具有毒性或腐蚀性。

一、氧化性物质

氧化性物质系指处于高氧化态，具有强氧化性，易分解并放出氧和热量的氧化剂，包括含有过氧基的无机物。这类物品本身不一定可燃，但能导致可燃物的燃烧。有些氧化性物质对热、震动或摩擦较敏感，与易燃物、有机物、还原剂，如松软的粉末等接触，即能分解引起燃烧和爆炸。少数氧化性物质容易发生自动分解（不稳定性），从而其本身就可具有发生着火和爆炸所需所有成分。大多数氧化性物质和强酸液体发生剧烈反应，放出剧毒性气体。某些物质在卷入火中时，亦可放出这种气体。

（一）氧化性物质的分类

氧化性物质按物质形态，可分为固体氧化性物质和液体氧化性物质，按化学组成为无机氧化性物质和有机氧化性物质两大类。根据氧化性能强弱，无机氧化性物质分为两级。

一级主要是碱金属或碱土金属的过氧化物和盐类，例如过氧化钠、高氯酸钠、硝酸钾、高锰酸钾等。一些氧化性物质的分子中含有过氧基（—O—O—）或高价态元素（N⁵⁺、Mn⁷⁺等），极不稳定，容易分解，氧化性很强，是强氧化剂，能引起燃烧或爆炸。二级氧化性物质虽然也容易分解，但较一级稳定，是较强氧化剂，能引起燃烧。除一级外的所有无机氧化剂均属此类，例如亚硝酸钠、亚氯酸钠、连二硫酸钠，重铬酸钠、氧化银等。有机氧化性物质如：H₂NCONH₂、H₂NCNHNH₂等。

（二）氧化性物质的火灾危险性

多数氧化性物质的特点是氧化价态高，金属活泼性强，易分解，有极强的氧化性，本身不燃烧，但与可燃物作用能发生着火和爆炸。

（1）受热、被撞分解性。在现行列入氧化性物质管理的危险品中，除有机硝酸盐类外，都是不燃物质，但当受热、被撞击或摩擦时易分解出氧，若接触易燃物、有机物，特别是与木炭粉、硫磺粉、淀粉等混合时，能引起着火和爆炸。

(2) **可燃性**。氧化性物质绝大多数是不燃的，但也有少数具有可燃性。主要是有机硝酸盐类，如硝酸胍、硝酸脲等，另外，还有过氧化氢尿素、高氯酸醋酐溶液，二氯或三氯异氰尿素、四硝基甲烷等。这些物质着火不需要外界的可燃物参与即可燃烧。

(3) **与可燃液体作用自燃性**。有些氧化性物质与可燃液体接触能引起燃烧。如高锰酸钾与甘油或乙二醇接触，过氧化钠与甲醇或醋酸接触，铬酸丙酮与香蕉水接触等，都能起火。

(4) **与酸作用分解性**。氧化性物质遇酸后，大多数能发生反应，而且反应常常是剧烈的，甚至引起爆炸。如高锰酸钾与硫酸，氯酸钾与硝酸接触都十分危险。这些氧化剂着火时，也不能用泡沫灭火剂扑救。

(5) **与水作用分解性**。有些氧化性物质，特别是活泼金属的过氧化物，遇水或吸收空气中的水蒸气和二氧化碳能分解放出原子氧，致使可燃物质爆燃。漂白粉（主要成分是次氯酸钙）吸水后，不仅能放出氧，还能放出大量的氯。高锰酸钾吸水后形成的液体，接触纸张、棉布等有机物，能立即引起燃烧，着火时禁用水扑救。

(6) **强氧化性物质与弱氧化性物质作用分解性**。强氧化剂与弱氧化剂相互之间接触能发生复分解反应，产生高热而引起着火或爆炸。如漂白粉、亚硝酸盐、亚氯酸盐、次氯酸盐等弱氧化剂，当遇到氯酸盐、硝酸盐等强氧化剂时，会发生剧烈反应，引起着火或爆炸。

(7) **腐蚀毒性**。不少氧化性物质还具有一定的毒性腐蚀性，能毒害人体，烧伤皮肤。如二氧化铬（铬酸）既有毒性，也有腐蚀性，这类物品着火时，应注意安全防护。

二、有机过氧化物

有机过氧化物是一种含有两价的—O—O—结构的有机物质，也可能是过氧化氢的衍生物。如过**蚁酸**（HCOOOH）、过**乙酸**（CH₃COOOH）等。有机过氧化物是热稳定性较差的物质，并可发生放热的加速分解过程，其火灾危险特性可归纳以下两点：

(1) **分解爆炸性**。由于有机过氧化物都含有极不稳定的过氧基—O—O—，对热、震动、冲击和摩擦都极为敏感，所以当受到轻微的外力作用时即分解。如过氧化二乙酰，纯品制成后存放24小时就可能发生强烈的爆炸；过氧化二苯甲酰含水在1%以下时，稍有摩擦即能引起爆炸；过氧化二碳酸二异丙酯在10℃以上时不稳定，达到17.22℃时即分解爆炸；过乙酸（过醋酸）纯品极不稳定，在零下20℃时也会爆炸，浓度大于45%的溶液时，在存放过程中仍可分解出氧气，加热至110℃时即爆炸。这就不难看出，有机过氧化物对温度和外力作用是十分敏感的，其危险性和危害性比其它氧化剂更大。

(2) **易燃性**。有机过氧化物不仅极易分解爆炸，而且特别易燃，有的非常易燃。如过氧化叔丁醇的闪点26.67℃。所以扑救有机过氧化物火灾时应特别注意爆炸的危险性。

此外，有机过氧化物一般容易伤害眼睛，如过氧化环己酮、叔丁基过氧化氢、过氧化二乙酰等，都对眼睛有伤害作用。因此，应避免眼睛接触有机过氧化物。

综上所述，有机过氧化物的火灾危险性主要取决于物质本身的过氧基含量和分解温度。有机过氧化物的过氧含量越多，其热分解温度越低，则火灾危险性就越大。

本章思考题

1. 什么是危险品？
2. 易燃易爆危险品主要包括哪几类？
3. 易燃气体的火灾危险性有哪些？
4. 易燃液体有几种分类？
5. 易燃固体、易于自燃的物质、遇水放出易燃气体的物质的概念分别是什么？

参考文献

- [1]GB/T536-2010.易燃易爆危险品火灾危险性分级及试验方法[S].
- [2]工业企业防火工程.警官教育出版社.1998.
- [3]中国消防手册（第三卷）.上海科学技术出版社.2007.
- [4]现代消防知识问答.上海科学技术出版社.2011.